

**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**OBTENCIÓN DE LA ESPIRULINA EN POLVO POR SECADO AL VACÍO PARA
EL ENRIQUECIMIENTO NUTRICIONAL DE LOS PRODUCTOS ALIMENTICIOS.**

**TESIS DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
QUÍMICO**

AUTOR: LUIS NEPTALÍ ASERO FARINANGO

TUTORA: ING. ANA ESTHER MACHADO CAMPOVERDE

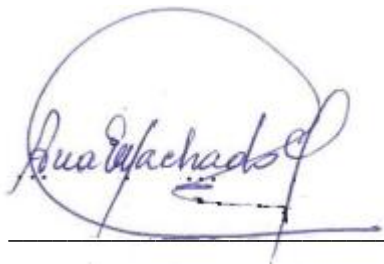
QUITO

2014

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de Tutor de la Tesis de Grado: “OBTENCIÓN DE LA ESPIRULINA EN POLVO POR SECADO AL VACÍO PARA EL ENRIQUECIMIENTO NUTRICIONAL DE LOS PRODUCTOS ALIMENTICIOS.” presentado y desarrollado por el señor: ASERO FARINANGO LUIS NEPTALÍ, previo a la obtención del Título de Ingeniero Químico, considero que la Tesis de Grado reúne los requisitos necesarios.

En la ciudad de Quito, a los 20 días del mes de Enero del 2014.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ana Machado C.', is written over a horizontal line.

Ing. Ana Machado C.

PROFESORA TUTORA

AUTORIZACIÓN DE LA AUTORÍA INTELECTUAL

Yo, LUIS NEPTALÍ ASERO FARINANGO en calidad de autor de la Tesis de Grado realizada sobre “OBTENCIÓN DE LA ESPIRULINA EN POLVO POR SECADO AL VACÍO PARA EL ENRIQUECIMIENTO NUTRICIONAL DE LOS PRODUCTOS ALIMENTICIOS..”, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o de parte de los que contiene esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8, 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Quito, 20 de Enero de 2014



Luis Neptali Asero Farinango
C.I. 1716223399
asfalune@hotmail.com

DEDICATORIA

A DIOS por haberme dado la vida y regalarme día a día la fortaleza necesaria para alcanzar las metas que me he propuesto y en las que él con su amor infinito y sabiduría suprema ha sabido guiarme. GRACIAS PADRE SANTO.

A mi Mami "Marianita" y mi Papi "José", por su paciencia y lucha insaciable lleno de inmenso amor, apoyo, consejos sabios y sus enseñanzas constantes inculcadas día a día, me han permitido hacer posible este sueño y quienes son mi motivación para seguir adelante.

A mis hermanos, Fanny, Edwin, Jorge y Silvia quienes me brindaron su apoyo en los momentos difíciles, por su paciencia, consejos, por creer en mí y por llenarme de amor.

A la memoria de mis abuelos por quienes me propongo mejorar día a día.

A mis sobrinos y sobrinas por ser los únicos e irremplazables que alegran la casa.

A mis Tíos y Tías los quiero mucho.

A mis primos Orlando y Soledad los quiero como hermanos.

A todas las personas que hicieron posible que este sueño se hiciera realidad.

AGRADECIMIENTO

A ti señor, mi Dios, por ser el camino, la verdad y la vida. Por regalarme tu bendición en este largo viaje, soportando todas las adversidades y contigo lo he logrado. Gracias por tu luz y por tu amor.

A mi familia, por brindarme todo el apoyo y comprensión por estar cada día de mi vida respaldándome.

A la Facultad de Ingeniería Química y a mis profesores por la formación académica profesional que me brindaron en estos años de estudio haciéndome Ingeniero Químico.

A mis amigos porque además de su amistad, me han brindado su gran apoyo en los momentos necesarios.

A la Ing. Ana Machado por su tiempo y la oportunidad que me brindo para desarrollar la investigación.

CONTENIDO

pág.

RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	1
1. TEORÍA.....	3
1.1. Fundamentación Teórica.....	3
1.1.1. <i>Cianobacterias</i>	3
1.1.2. <i>Espirulina</i>	4
1.1.2.1. <i>Clasificación Taxonómica</i>	5
1.1.2.2. <i>Morfología</i>	6
1.1.2.3. <i>Hábitat</i>	7
1.1.2.4. <i>Origen</i>	7
1.1.2.5. <i>Reproducción y ciclo de vida</i>	9
1.1.2.6. <i>Siembra o cultivo</i>	10
1.1.2.7. <i>Cosecha</i>	11
1.1.2.8. <i>Conservación</i>	12
1.1.2.9. <i>Composición química y característica</i>	12
1.1.2.9.2. <i>Carbohidratos</i>	16
1.1.2.9.3. <i>Lípidos</i>	16
1.1.2.9.4. <i>Ácidos grasos</i>	16
1.1.2.9.5. <i>Vitaminas</i>	18
1.1.2.9.6. <i>Minerales</i>	19
1.1.2.9.7. <i>Ácidos nucleicos</i>	20
1.1.2.10. <i>Usos generales</i>	21
1.1.2.10.1. <i>Aplicaciones Comerciales</i>	21
1.1.2.11. <i>La espirulina en el Ecuador</i>	21
2. SECADO.....	23
2.1. Secado.....	23
2.2. Estática de secado	23

2.2.1. Sólido húmedo.....	23
2.2.2. Sólido higroscópico.....	24
2.2.3. Humedad inicial del sólido.....	24
2.2.4. Agua evaporada.....	24
2.3. Velocidad de secado.....	24
2.3.1. Curvas de velocidad de secado.....	25
2.4. Periodo de secado.....	26
2.4.1. Periodo de ajuste (Etapa A- B).....	26
2.4.2. Periodo constante (Etapa B-C).....	26
2.4.3. Periodo de caída (Etapa C-E).....	27
2.5. Coeficiente total de transporte de calor.....	27
2.5.1. Transmisión de calor por convección.....	27
2.5.2. Transmisión de calor por convección y radiación.....	28
2.5.3. Transferencia de calor por conducción, convección y radiación.....	28
2.6. Secado al vacío.....	29
2.6.1. Generalidades.....	29
2.6.2. Definición de vacío.....	30
2.6.3. Aplicaciones del secado al vacío y del uso del vacío.....	31
2.6.4. Limitaciones del secado al vacío.....	32
2.6.5. Ventajas del secado al vacío.....	32
2.6.6. Secado de alimentos.....	33
 3. PARTE EXPERIMENTAL.....	 34
3.1. Diseño Experimental.....	34
3.1.2. Materiales y Equipo.....	36
3.1.2.1. Equipo para el secado al vacío.....	36
3.1.3. Sustancias y reactivos.....	36
3.1.4. Procedimiento.....	36
3.1.4.1. Secado al vacío de la espirulina.....	37
3.1.4.2. Análisis bromatológico y microbiológico.....	38
3.2. Diseño del Proceso.....	38
3.3. Elaboración de la bebida a partir de la muestra seleccionada.....	39
3.4. Datos experimentales.....	41
3.4.1. Datos del proceso de secado al vacío.....	41
 4. CÁLCULOS.....	 50

4.1. Secado al vacío	50
4.1.1. Cálculo de agua evaporada	50
4.1.2. Cálculo del área de contacto	50
4.1.3. Cálculo de la velocidad de secado	51
4.1.4. Cálculo de humedad (en base humedad)	51
4.1.5. Cálculo de la masa de agua.....	51
4.1.6. Cálculo de agua libre	52
4.1.7. Cálculo de la humedad libre	52
4.1.8. Cálculo de la humedad inicial	52
4.1.9. Cálculo de la humedad y velocidad crítica.....	52
4.1.10. Cálculo de tiempos críticos.....	53
4.1.11. Cálculo de tiempo de caída.....	53
4.1.12. Cálculo del coeficiente total de transporte	53
4.1.12.1. Cálculo de la cantidad de calor	53
4.1.12.2. Cálculo del coeficiente total.....	54
4.1.13. Cálculo de la capacidad de succión máxima de la bomba de vacío	54
4.1.13.1. Cálculo de la diferencia de masa recogida (para $t=300s$)	54
4.1.13.2. Cálculo de número de moles	55
4.1.13.3. Cálculo de la capacidad de succión	55
 5. RESULTADOS	 56
5.1. Resultados de la experimentación	56
5.1.1. Resultados parciales del secado al vacío a $P = 110 \text{ mm Hg}$	56
5.1.2. Resultados parciales del secado al vacío a $P = 136 \text{ mm Hg}$	61
5.1.3. Resultados parciales del secado al vacío a $P = 160 \text{ mm Hg}$	65
5.1.4. Resultados generales del secado al vacío de la <i>Espirulina</i>	70
5.2. Resultados de los Análisis Bromatológicos y Microbiológicos	70
5.2.1. Análisis bromatológico de muestras iniciales antes del secado	70
5.2.2. Análisis microbiológico de muestras iniciales antes del secado vacío	71
5.2.3. Análisis microbiológico de muestras iniciales después del secado al vacío	71
5.2.4. Resultados de análisis bromatológico en base húmeda	72
5.2.5. Resultados de análisis bromatológico en base seca.	72
5.3. Pruebas de degustación.....	73
5.3.1. Encuesta para la aceptabilidad del polvo de <i>Spirulina</i>	73
 6. DISCUSIÓN.....	 83

7. CONCLUSIONES	85
8. RECOMENDACIONES	87
CITAS BIBLIOGRAFICAS	88
BIBLIOGRAFÍA	92
ANEXOS.....	94

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Ubicación taxonómica de espirulina Máxima.	5
Tabla 2. Modificado por los presentes autores, de Vonshak y Tomaseli.	8
Tabla 3. Propiedades físicas de la espirulina	13
Tabla 4. Composición química de la espirulina	13
Tabla 5. Contenido proteico de diferentes alimentos	15
Tabla 6. Contenido de vitaminas en espirulina	19
Tabla 7. Contenido de minerales en Spirulina	20
Tabla 8. Rangos de vacío	31
Tabla 9. Actividad de agua mínima para el desarrollo de microorganismos	33
Tabla 10. Ingesta diaria recomendada de espirulina	39
Tabla 11. Masa inicial promedio, masa final promedio después del secado a 58°C.....	41
Tabla 12. Volumen de agua recogida en función del tiempo a 58°C.....	41
Tabla 13. Masa inicial, y masa después del secado a 56°C.....	42
Tabla 14. Volumen de agua recogida en función del tiempo a 56°C.....	42
Tabla 15. Masa inicial y masa después del secado a 52°C.....	43
Tabla 16. Volumen de agua recogida en función del tiempo	43
Tabla 17. Masa inicial, y masa después del secado a 58°C.....	44
Tabla 18. Volumen de agua recogida en función del tiempo a 58°C.....	44
Tabla 19. Masa inicial, y masa después del secado a 56°C.....	45
Tabla 20. Volumen de agua recogida en función del tiempo a 56°C.....	45
Tabla 21. Masa de inicial, masa después del secado a 52°C	46
Tabla 22. Volumen de agua recogido en función del tiempo a 52°C.....	46
Tabla 23. Masa de inicial, masa después del secado a 58°C	47
Tabla 24. Volumen de agua recogido en función del tiempo a 58°C.....	47
Tabla 25. Masa de inicial, masa después del secado a 56°C	48
Tabla 26. Volumen de agua recogido en función del tiempo a 56°C.....	48
Tabla 27. Masa inicial y masa después del secado a 52°C.....	49
Tabla 28. Volumen de agua recogido en función del tiempo a 52°C.....	49
Tabla 29. Capacidad de succión máxima de la bomba de vacío para cada condición de secado de la espirulina.	55

Tabla 30. Resultados parciales del secado al vacío a temperatura de 58°C	56
Tabla 31. Resultados parciales del secado al vacío a temperatura de 56°C	58
Tabla 32. Resultados parciales del secado al vacío a temperatura de 52°C	59
Tabla 33. Resultados parciales del secado al vacío a temperatura de 58°C	61
Tabla 34. Resultados parciales del secado al vacío a temperatura de 56°C	62
Tabla 35. Resultados parciales del secado al vacío a temperatura de 52°C	64
Tabla 36. Resultados parciales del secado al vacío a temperatura de 58°C	65
Tabla 37. Resultados parciales del secado al vacío a temperatura de 56°C	67
Tabla 38. Resultados parciales del secado al vacío a temperatura de 52°C	68
Tabla 39. Resultados generales del secado al vacío de la Espirulina	70
Tabla 40. Resultados parciales del análisis bromatológico de la muestra inicial antes del secado (ver anexo B).....	70
Tabla 41. Resultados parciales del análisis microbiológico de la muestra inicial antes del secado (ver anexo J).....	71
Tabla 42. Resultados parciales del análisis microbiológico de la muestra inicial después del secado (ver anexo K)	71
Tabla 43. Resultados parciales del análisis bromatológico en base húmeda	72
Tabla 44. Resultados parciales del análisis bromatológico en base seca	72
Tabla 45. Relación de mezcla recomendada de leche, jugo y pan de maíz con espirulina en polvo.....	73
Tabla 46. Datos obtenidos de la degustación del sabor de la espirulina en combinación	73
Tabla 47. Datos obtenidos de la degustación del aroma de la espirulina en combinación	74
Tabla 48. Datos obtenidos de la degustación del color de la espirulina en combinación.....	74
Tabla 49. Totales del grado de aceptabilidad para cada género	77

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Tipos de filamentos de la Spirulina.	6
Figura 2. Spirulina subsalsa, 2400X visibles rollos apretados de una hélice.	7
Figura 3. Ciclo de vida de la espirulina.	10
Figura 4. Tensión de vapor de líquido contenido en el sólido y del líquido puro a una misma temperatura.	23
Figura 5. Comportamiento del secado (Régimen vs. Humedad)	25
Figura 6. Curva de régimen de secado	26
Figura 7. Diseño Experimental de secado al vacío de la obtención de la espirulina.	35
Figura 8. Equipo de Secado al vacío de la espirulina.	37
Figura 9. Diagrama de bloque del Diseño del Proceso.	38
Figura 10. Diagrama de bloque de la Elaboración de Bebidas de la muestra seleccionada	40

LISTA DE GRÁFICOS

pág.

Gráfico 1. Masa de agua evaporada en función del tiempo de la Tabla 30	57
Gráfico 2. Velocidad de secado en función de la Humedad libre de la Tabla 30	57
Gráfico 3. Agua evaporada en función del tiempo de la Tabla 31.....	58
Gráfico 4. Velocidad de secado en función de la Humedad libre tiempo de la Tabla 31.....	59
Gráfico 5. Masa de agua evaporada en función del tiempo de la Tabla 32	60
Gráfico 6. Velocidad de secado en función de la Humedad libre tiempo de la Tabla 32.....	60
Gráfico 7. Masa de agua evaporada en función del tiempo de la Tabla 33	61
Gráfico 8. Velocidad de secado en función de la Humedad libre tiempo de la Tabla 33.....	62
Gráfico 9. Masa de agua evaporada en función del tiempo de la Tabla 34	63
Gráfico 10. Velocidad de secado en función de la humedad libre de la Tabla 34	63
Gráfico 11. Masa de agua evaporada en función del tiempo de la Tabla 35	64
Gráfico 12. Velocidad de secado en función de la Humedad libre, tiempo de la Tabla 35.....	65
Gráfico 13. Masa de agua evaporada en función del tiempo de la Tabla 36.....	66
Gráfico 14. Velocidad de secado en función de la Humedad libre, tiempo de la Tabla 36.....	66
Gráfico 15. Masa de agua evaporada en función del tiempo de la Tabla 37	67
Gráfico 16. Velocidad de secado en función de la Humedad libre, tiempo de la Tabla 37.....	68
Gráfico 17. Masa de agua evaporada en función del tiempo de la Tabla 38	69
Gráfico 18. Velocidad de secado en función de la Humedad libre, tiempo de la Tabla 38.....	69
Gráfico 19. Cuadro de aceptabilidad del sabor en relación al género	81
Gráfico 20. Cuadro de aceptabilidad de aroma en relación al género.....	81
Gráfico 21. Cuadro de aceptabilidad de color en relación al género	82

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. Encuesta para la selección de la aprobación.....	100
ANEXO B. Análisis bromatológico de espirulina antes del secado	101
ANEXO C. Análisis bromatológico despues del secado al vacío.....	102
ANEXO D. Análisis bromatológico de espirulina después del secado.....	103
ANEXO E. Análisis bromatológico de espirulina después del secado	104
ANEXO F. Análisis bromatológico de espirulina después del secado	105
ANEXO G. Analisis bromatológico de espirulina despues del secado.....	106
ANEXO H. Análisis bromatológico de spirulina después del secado	107
ANEXO J. Análisis microbiológico antes del secado al vacío.	108
ANEXO K. Análisis microbiológico después del secado al vacío.	109
ANEXO L. Espirulina a diferentes condiciones	110

OBTENCIÓN DE LA ESPIRULINA EN POLVO POR SECADO AL VACÍO PARA EL ENRIQUECIMIENTO NUTRICIONAL DE LOS PRODUCTOS ALIMENTICIOS.

RESUMEN

Se obtuvo espirulina en polvo con un alto porcentaje de proteína para su utilización en el enriquecimiento de alimentos, con el fin de disminuir la desnutrición de los niños.

Las muestras de espirulina cultivadas en el Ecuador en un sistema de piscinas se sometieron a un secado al vacío, a nivel de laboratorio. Se trabajó a tres presiones de vacío: 110, 136, 160 mm Hg y a tres temperaturas: 52, 56, 58°C y un peso de 30 g de espirulina con dos réplicas en cada experimentación.

Se determinó que las mejores condiciones del proceso corresponden a la temperatura de 52°C, presión de 110 mmHg, obteniéndose un polvo de color verde de apariencia agradable y olor semejante a una verdura cocinada.

En el resultado de los análisis bromatológico y microbiológico de la mejor muestra, se observa la ausencia de microorganismos nocivos para la salud por lo que es un alimento apto para consumo humano.

Finalmente el producto combinado con leche, jugo y harina de maíz en forma de pasta se sometió a un análisis sensorial, encontrándose mayor aceptación de las mezclas de espirulina con jugo y con leche.

PALABRAS CLAVES: / SECADO AL VACÍO / ESPIRULINA / PROTEÍNAS / ANÁLISIS BROMATOLÓGICO / ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO /ANÁLISIS SENSORIAL / VALOR NUTRITIVO/

OBTAINING SPIRULINA POWDER BY VACUUM DRYING FOR NUTRITIONAL ENHANCEMENT FOOD PRODUCTS.

ABSTRACT

Was obtained spirulina powder with a high percentage of protein for use in the enrichment of feed, in order to reduce malnutrition in children.

The sample cultured spirulina in Ecuador in a pools system was subjected to vacuum drying at laboratory level, was working three vacuum pressures : 110, 136, 160 mmHg and three temperatures : 52, 56, 58 ° C and a weight of 30 g of spirulina with two replicates in each experiment.

It was determined that the best process conditions correspond to a temperature of 52 ° C , pressure of 110 mmHg to give a green powder of pleasing appearance and smell like a cooked vegetable.

By bromatological and microbiological analysis of the best shows, the absence of harmful microorganisms to health so it is a suitable food for human consumption is observed.

Finally the product in combination with milk, juice and corn flour in a paste was subjected to sensory analysis, finding greater acceptance with blends of juice and milk.

KEYWORDS: /DRYVACUUM /ESPIRULINA /PROTEIN /BROMATOLOGICAL ANALYSIS /MICROBIALANALYSIS / SENSORY ANALYSIS / NUTRITIONAL VALUE.

INTRODUCCIÓN

La espirulina es una microalga que se cultiva industrialmente en varios lugares del mundo debido a su excepcional composición nutricional. En el año 2000 se estimó que la producción mundial de espirulina llegaba a las 2000 toneladas por año, en la actualidad a nivel mundial existen 500 plantaciones que producen 6 mil toneladas de espirulina al año. El 70% se usa como suplemento alimenticio, el 20% como aditivo y materia prima de alimentos y bebidas y el 10% para productos cosméticos.

La composición química de la espirulina y su aceptación como alimento saludable, rico en proteínas, vitaminas y minerales, motivó a proponer su uso con niños desnutridos en diversas regiones. En América Latina, Ecuador es uno de los productores más importantes, aunque la producción en la región es mayoritariamente artesanal. La principal planta productora de espirulina en Ecuador, se encuentra en Pintag, a 30 kilómetros de Quito.

En el país existen pequeñas empresas que están iniciando la producción de la espirulina, por su alto contenido proteico, presenta grandes beneficios como suplementos vitamínicos para la salud humana constituyendo un alimento primordial de bajo costo para combatir la desnutrición de niños y adultos que afectaba a muchos países del Tercer Mundo.

La espirulina, generalmente es utilizado en cápsulas, pero en los últimos tiempos en el país se está promocionando en diferentes presentaciones para diferentes aplicaciones, haciendo con ello concentrar los nutrientes del alimento, conservarlo, almacenarlo y dar una nueva alternativa de consumo.

Los métodos que en la actualidad se utilizan para el secado de la espirulina, son la pulverización y liofilización, los cuales no solo buscan conservarlos sino aprovecharlos en la elaboración de otros productos, con mejores características. El secado de la espirulina por cualquiera de las técnicas permite su conservación, disminuyendo la facilidad de que se contamine con cuerpos extraños u olores.

A nivel mundial se investigan técnicas u operaciones que permitan obtener espirulina en polvo; una de ellas realizada en Francia ha concluido que al secar la espirulina por pulverización y

combinarlo con harina mejora sus propiedades nutricionales que sirve para realizar batidos o pastas a un bajo costo, por eso es considerado como un alimento del siglo 21.

Un estudio del cultivo artesanal de la espirulina, es de interés significativo debido a que en los últimos años se ha descubierto su gran importancia nutricional, económica y biológica, esta micro alga, es rica en proteínas, vitaminas A,K, minerales y ácidos grasos, en la actualidad ayuda a combatir la malnutrición en niños y adultos de las poblaciones más desfavorecidas.

La espirulina siendo un producto de fácil producción, rica en proteínas, vitaminas, minerales y nulo impacto ambiental, teniendo gran riqueza nutricional, no es muy conocida ni cultivada por las comunidades, con este medio se puede crear cambios de hábitos alimenticios de la gente, disminuyendo la malnutrición a nivel mundial.

Muchos niños de países en desarrollo no llegan a su potencial completo en crecimiento y desarrollo, comparado con su contra parte en países desarrollados. Aunque muchos factores pueden ser responsables de esto, la razón principal es que estos niños sufren de deficiencias nutricionales.

La solución se allá en proveer una alternativa barata y efectiva a las varias presentaciones nutricionales costosas que ya existen en el mercado, así para tener un alimento nutritivo con alto contenido de proteínas.

El cultivo se desarrolla en una temperatura ambiental e iluminación, determinada siendo las variables que se controlan para tener rapidez en el crecimiento y calidad de la espirulina, esta alga es considerada como un importante recurso nutricional en la producción y el enriquecimiento de los alimentos para así combatir la desnutrición de los niños y adultos de las comunidades aledañas.

Con esta investigación la gente dispondrá de información científica valiosa y opciones de mejorar la alimentación de los pueblos, permitiendo mejorar la calidad de vida de la sociedad.

Referente al secado al vacío se han realizado algunos estudios en la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador como del banano verde y maduro, pimientos, espárragos, huevos, entre otros con la finalidad de conservarlos y aprovecharlo en combinación con otros alimentos.

1. TEORÍA

1.1. Fundamentación Teórica

1.1.1. *Cianobacterias.* Las cianobacterias son organismos desprovistos de membrana nuclear y mitocondrias; difieren de otros procariotas en la composición de sus ácidos grasos, ya que frecuentemente presentan ácidos grasos no saturados con dos o más enlaces dobles.

Poseen solamente clorofila-a y un fotosistema II (PS-II), así como los pigmentos fotosintéticos, los pigmentos accesorios y los componentes del transporte de electrones, están incluidos en los tilacoides (sistemas membranosos fotosintéticos). íntimamente ligados al sistema clorofílico se encuentran unos agregados llamados ficobilisomas o ficobilinas.

Estos gránulos contienen en particular, un pigmento esencial para el transporte de energía hacia el PS-II, la ficocianina, proteína que posee un grupo prostético del tipo poli pirrol, el cual le confiere un magnifico color azul, así como una fluorescencia roja de excepcional eficiencia.

Las cianobacterias asimilan el carbono a través del ciclo de Calvin y almacenan energía y carbono en forma de glucógeno.

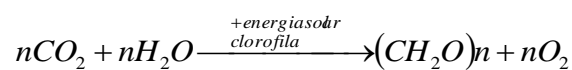
Las cianobacterias poseen diferentes esquemas metabólicos que tienen en común, la ausencia del ciclo de Krebs completo. Muchas de ellas, sobre todo las filamentosas, son capaces de reducir el nitrógeno atmosférico, gracias a unas estructuras llamadas heterocistes.

La mayoría de las cianobacterias son capaces de desplazarse en los líquidos, debido a vesículas gaseosas, o en el caso de las cianobacterias filamentosas, por deslizamiento de hasta 25 micras por segundo mediante microfibras. La reproducción de estos organismos se efectúa por escisión simple o múltiple, por gemación o por fragmentación.

Algunas de sus especies producen células especializadas (acinetos), resistentes a la sequedad y a la congelación, que pueden germinar cuando las condiciones se vuelven favorables.

La cianobacterias se encuentran ampliamente distribuidas en la naturaleza, tanto en agua continentales como en el mar, por lo general toleran ambientes extremos mejor que las algas; gracias a esto, desempeñan un papel importante en los fenómenos biológicos de las aguas superficiales. Existen formas libres y otras fijas. Estas últimas crecen sobre plantas y los animales acuáticos, así como sobre algunos sustratos inertes como piedras, algunas especies viven en simbiosis con plantas y animales inferiores.

La fotosíntesis es el proceso fotoquímico más importante en la biosfera, realizado por plantas y cianobacterias, en éstas, la energía solar se transforma en energía química a través de la transformación de moléculas de carbono en materia orgánica (figueruelo, 2001).



La cianobacterias (alga verde-azuladas), para formar biomasa necesitan elementos inorgánicos de partida, en su actividad nutricional, tales como, nitrógeno, oxígeno, carbono, hidrógeno, fósforo y azufre, que intervienen en la formación de carbohidratos, grasas y proteínas. [2]

1.1.2. *Espirulina*. La espirulina es una micro-alga azul-verde que constituye una de las primeras manifestaciones de vida en el planeta. Su antigüedad puede calcularse entre los 3.100 y 3.500 millones de años, de modo que se ubica en la base absoluta de las cadenas alimentarias que se construyeron a partir de ella. Tiene forma de filamentos espiralados microscópicos -como un tirabuzón- aunque son apreciables, además, formaciones rectas.

En estado seco -es decir, tal como se la consume- contiene entre el 60-70 % de proteínas (es el alimento de mayor contenido proteico conocido) distribuidas de acuerdo a un perfil cualitativo y cuantitativo excepcional y compuestas por aminoácidos esenciales y puede decirse que la espirulina es un complemento nutricional ideal.

La espirulina tiene una muy importante presencia de ácidos poliinsaturados linoleico y gamma-linolénico, precursores de algunas de las prostaglandinas (PGE 1, PGE2 y PGE3), hormonas encargadas del control de funciones primordiales del organismo como: la regulación de la presión arterial, la síntesis del colesterol y la división celular.

También contiene tres pigmentos sumamente importantes: la Ficocianina, de color azul; la Clorofila, de color verde; y los carotenoides, de color rojo-naranja. La Ficocianina estimula

enormemente la actividad linfocitaria, participando, a través de enfatizar el sistema inmunitario, en la prevención de lesiones malignas, como el cáncer, inhibiendo su crecimiento o recurrencia.

También se reporta su positivo efecto sobre la inhibición de la replicación del HIV-1. Son conocidas, también, las cualidades de la Clorofila como antiséptico y desintoxicante, además de obrar sinérgicamente en la captación y asimilación del Hierro. Dentro de los pigmentos carotenoides se destaca el Beta caroteno, de cuya función ya hemos hablado anteriormente.

Al carecer de membranas celulares celulósicas -están constituidas por mucopolisacáridos- su digestibilidad es muy alta, alcanzando registros entre el 88 y 92 %, hecho que colabora a incrementar la biodisponibilidad inmediata de sus componentes básicos.

1.1.2.1. Clasificación Taxonómica. Desgraciadamente existe una confusión entre los términos *Espirulina* y *Arthrospira*, la cual proviene a la vez de errores en las determinaciones científicas de los años 1950 y de la denominación comercial de ciertas cianobacterias alimentarias.

Los términos al asignarse en momentos históricos y autores diferentes, pero al argumentar un conjunto de conceptos a favor de uno y otro termino. El género *Arthrospiras* incluye el conjunto de cianobacterias alimentarias vendidas comercialmente bajo el nombre de *espirulina* (*spiruline* en francés y *spirulina* en inglés).

Los nombres cianobacterias, algas verdes-azules o cianofíceas, se consideran términos compatibles.

El primero se refiere a la relación taxonómica y filogenética, mientras el segundo representa la correlación ecológica y biológica. Así, según la revisión actual para este microorganismo en la tabla 1. [3]

Tabla 1. Ubicación taxonómica de *espirulina* Máxima.

Dominio:	Bacteria
Clase:	Cyanobacteria
Orden:	Oscillatoriales
Familia:	Oscilatoriaceae
Género:	<i>Spirulina</i>
Especie:	<i>S. máxima</i> (= <i>Arthrospira</i>)

La espirulina se clasifica bajo el Orden Nostocales: las células dispuestas en hilos denominados tricomas, con una película mucilaginosa de mucopolisacáridos en lugar de la membrana celular predominantemente celulósica, como es característica de las células vegetales; sin un núcleo definido, dado que los ácidos nucleicos y otros componentes nucleares se encuentran distribuidos aleatoriamente en toda la masa celular.

Los pigmentos principales: Clorofila A (no contiene Clorofila B); Ficocianina y los Carotenoides no se encuentran en cloroplastos sino se distribuyen por todo el filamento, de igual forma que los ácidos nucleicos. Ello encuadra a este micro-alga en la clasificación de procariotas.

También se encuentran en ciertos lagos salobres del valle del rift, y en otros lugares. En estas sub-especies la composición química resultante de su adaptación, así como los componentes de los medios de cultivo, es bastante diferente, lo cual es demostrativo de la gran capacidad de adaptación y pervivencia de estas algas.[4]

1.1.2.2. Morfología. El género *Spirulina*. Pertenece a la familia Oscilatoriaceae, en la **figura 1** se observan algunos tipos de filamentos que pueden adoptar en su hábitat.

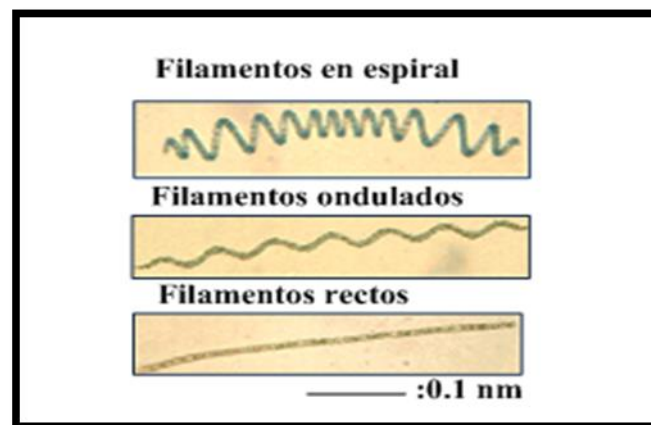


Figura 1. Tipos de filamentos de la espirulina.

Las especies más representativas en diversas investigaciones son: *S. máxima* y *S. platensis*, y entre estas también existen también diferencias morfológicas en cuanto a los filamentos, vacuolas y la regularidad externa de la cubierta o la capsula de cada filamento, que ayudan en la identificación taxonómica de las diferentes especies (Tomaselli, et al., 1996).

Esta familia contiene un grupo homogéneo de cianobacterias filamentosas caracterizadas por tener las células en forma de espiral (tricomas) y una fina membrana externa mucilaginosa

llamadas vainas. La figura 2, muestra este tipo de características gracias a la microscopia electrónica de alta resolución. Las dimensiones celulares, dependen del enrollamiento celular y de 3l largo que puedan llegar a ser filamentos.

Estas dimensiones varían según la especie. Regularmente los filamentos son solitarios y flotan libremente. Las condiciones ambientales de crecimiento, también influirán en su tipo de configuración, pero siempre permanecerá la constante de la morfología en forma helicoidal (Spiller, et al., 2001). [5]

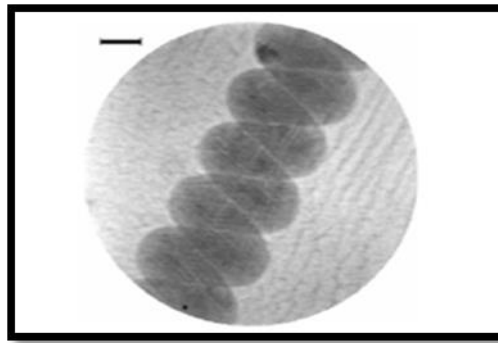


Figura 2.Espirulina subsalsa, 2400X visibles rollos apretados de una hélice.

1.1.2.3. Hábitat. Lo que diferencia el género espirulina, del resto de las cianobacterias, en su particular nicho ecológico, ya que estos microorganismos proliferan en aguas muy mineralizadas, extremadamente alcalinas y en ocasiones calientes. Estas condiciones excluyen a la mayoría de los seres vivos. El desarrollo de la espirulina, en este tipo de medios se debe a tres fenómenos:

- a. Al consumir los carbonatos y bicarbonatos de su medio, la espirulina, tiende a aumentar todavía más la alcalinidad del líquido llegando incluso a un pH 11,5
- b. Como son altamente pigmentadas y a menudo flotantes, los filamentos de espirulina, forman una pantalla muy eficaz, que priva de luz solar a las raras algas que se pueden acomodarse a su medio de cultivo.
- c. Se ha demostrado que la espirulina, es capaz de secretar moléculas proteicas como medio de defensa en su medio natural.

1.1.2.4. Origen. Los antiguos habitantes de la actual ciudad capital de México (el Tenochtitlán) lograron mantener sana a una numerosa población a través una ingesta equilibrada, basada en el maíz, que representaba el 80% diario de la misma; a la cual agregaban frijoles, chile, chayote, jitomate, cebolla, amaranto y otros vegetales conocidos por ellos.

Estos alimentos los producían en tierra firme y también empleaban otros como “el alga espirulina” (Barros y Buenrostro, 1999) que eran originarios del conjunto lacustre del Valle de México.

En cierta época del año, los aztecas recolectaban un “barro” de color azul hasta llenar por completo sus canoas. Luego, lo ponían a secar al sol y una vez el material seco, formaban pequeñas tortas y las colocaban sobre hierbas frescas.

Estas tortas tenían un sabor a queso y un cierto olor a barro y las comían en pequeñas cantidades con tortillas, utilizándolas además para condimentar el maíz en lugar de emplear sal.

Otros investigadores y viajeros también relataron haber observado esta sustancia flotante que era aprovechada como alimento. En la región del lago de Chad, los pueblos también recogen estamicro alga en forma de puré y la venden luego como galletas en los mercados.

Estas galletas o bizcochos fueron analizados por investigadores y se descubrió que contenía un alga Cianofita, denominada *Spirulina platensis*.

Tabla 2. Modificado por los presentes autores, de Vonshak y Tomaseli.

ESPECIE DE ARTHROSPIRA (=SPIRULINA)	PRIMERO DESCRIPCIÓN
A, fusiformis	Estepa siberiana, Rusia, Lago Tunatan
A, gomontiana	América del Norte, agua estancada
A, Indica	Madural, India, estanque natural
A, Jenneri	Europa, agua estancada
A, Khannae	Rangoon, Myanmar, estanque natural
A, Massartil	Luxemburgo, agua de manantial
A, Máxima	Oaklaand, California, pozo salina
A, Platenses	Montevideo, Uruguay, agua estancada
A, Spirulinoides	Lahore, Pakistan, agua de lluvia estancada
A, tenuis	Bengala, India, estanque artificial

Fuente: Vonshak y Tomaseli 2000– *Contribution a l’etuded’uneCyanophycees: Spirulina* – A.C.M.A., 1966 - París, pág. 18 [Enlínea]. [Fecha de consulta: el 2 de Mayo del 2013 a las 17.00]. Disponible en: <http://www.antena.ch/manual/cultivo.html>.

Posteriormente, investigadores franceses llevaron a cabo estudios sobre esta sustancia tan nutritiva y económica empleada por los habitantes del Chad y de Kanem e hicieron mención sobre su consumo y valor nutritivo como alimento.

Las mujeres de estos pueblos son las encargadas de su cosecha y la realizan mayormente en la época de las lluvias. La *espirulina*, se colecta en canastas de mimbre, dejando escurrir el agua sobre cántaros de barro. El puré de *espirulina* es luego vertido en recipientes, tipo palanganas, dejándolo secar al sol una vez filtrada el agua. Este alimento se agrega en los guisos en los que suelen también incluir pescado o trozos de carne de ganado.

La ingesta de este alimento hace que dichos pueblos al consumirlo, mantengan un buen estado físico, sean sanos, altos y sobre todo grandes corredores. Actualmente, se continúa utilizando a la *espirulina* como fuente de alimento, aunque en México, sin embargo, posteriormente a la conquista de los españoles, esta alga cayó en el olvido. [6]

1.1.2.5. Reproducción y ciclo de vida. Un aspecto fundamental de la biología de *espirulina*, es su ciclo vital, enmarcado por su ubicación taxonómica, su fisiología e implicaciones ambientales de cultivo.

Todas las células dispuestas en filamentos o rosarios, tienen la facultad de multiplicarse por bipartición. Hacia los extremos de los filamentos, la división es más frecuente que en la zona intercalar, este es un periodo que se puede resumir en tres etapas fundamentales:

- a. Fragmentación de tricomas
- b. La ampliación de células del hormogonio y procesos de maduración.
- c. Alargamiento de tricoma

El tricoma maduro se divide en varios filamentos u hormogonios pequeños, gracias a la formación previa de células especializadas, las llamadas células de necridio, que se caracterizan por tomar un aspecto granuloso, sus tabiques transversales se abomban fuertemente y la célula se vuelve bicóncava, la materia de la célula se reasorbe para permitir la fragmentación.

La ruptura celular ocurre por zonas conocidas como disyuntores. Para este proceso, el tricoma crece longitudinalmente y toma su forma típica helicoidal. (Abbeyes, Berry, et al 2003) [7]

Cuando la superficie final del estanque es la deseada, aumentar el nivel y la concentración del cultivo al nivel deseado hasta la concentración óptima de 0,4 g/l antes de iniciar la cosecha.

1.1.2.7. Cosecha. El mejor momento para la cosecha es por la mañana. Temprano porque:

- ❖ La baja temperatura hace el trabajo más agradable
- ❖ Habrá más horas de sol para secar el producto
- ❖ El porcentaje de proteínas tiene su máximo por la mañana
- ❖ La filtración es más rápida.

La cosecha está dividida esencialmente en dos etapas:

- a. La filtración, para obtener una biomasa con un 10 % de materia seca (1 litro = 100 g de peso seco)
- b. El exprimido, para eliminar el medio de cultivo residual y obtener la "espirulina fresca", lista para ser consumida o secada, conteniendo alrededor de 20 a 25 % de materia seca según las cepas y la salinidad del medio.

La filtración se efectúa simplemente por gravedad a través de una malla sintética (poliéster o poliamida) de aproximadamente 40 μ (0,04 mm) de poro o malla. El filtro puede ser un saco colocado encima del estanque para reciclar directamente lo filtrado. Antes de ser filtrado, el cultivo debe ser pasado por un colador o un tamiz con malla de 0,3 mm para eliminar los cuerpos extraños como insectos, trozos de vegetales, etc.

Se puede hacer uso de un recipiente con bordes rectos, evitando mover el fondo donde se encuentran los depósitos.

La filtración se puede acelerar moviendo o raspando suavemente la malla. Una vez que la mayor parte del agua ha sido eliminada, la espirulina (la biomasa) se junta formando como una "bola" gracias al movimiento de la malla. A veces, la bola no puede formarse bien o se pega.

El prensado final se hace simplemente por presión: la biomasa se extiende en forma de torta de unos centímetros de espesor, en una malla (puede ser la misma utilizada para la filtración, preferiblemente redoblada por una tela sólida de algodón) entre dos placas ranuradas con pesos encima (piedras, ladrillos, bloquetas, etc.), o en una prensa o un lagar. Una presión de 0,2

kg/cm² durante un cuarto de hora es suficiente para eliminar el agua intersticial, aunque a veces la presión y/o el tiempo deben ser más largos para obtener una torta prensada suficientemente consistente.

Detener la presión cuando el "jugo" se vuelve demasiado verde.

Este sistema es más adecuado que el lavado con agua para eliminar los restos del medio de cultivo sin destruir la espirulina, salvo que el exprimido sea muy difícil o imposible debido a una biomasa de calidad inferior (100 % de filamentos rectos por ejemplo).

En este último caso el lavado debe hacerse de preferencia con agua potable ligeramente salada y acidificada.

1.1.2.8. Conservación. Es cierto que la espirulina fresca (la biomasa prensada), tanto desde el punto de vista organoléptico como por su valor nutritivo y de coste, es superior a toda otra forma de espirulina. Puede conservarse dos días en el refrigerador a 7°C o diez días a 1°C. Además se congela fácilmente.

Para quienes no disponen de refrigerador ni congelador, el salado puede ser otra solución. Agregando un 10 % de sal fina a la biomasa prensada y añadiendo una ligera capa de aceite, se asegura una conservación de aproximadamente un mes. El salado modifica el producto: su consistencia se vuelve más fluida, su color más oscuro (la ficocianina azul es liberada) y el gusto se parece al de la pasta de anchoas.

El secado es el único modo de conservación comercial. Convenientemente embalada y almacenada la espirulina seca puede conservarse hasta cinco años; pero el secado es costoso y frecuentemente da al producto un gusto y olor que pueden ser juzgados desagradables por el consumidor. [8]

1.1.2.9. Composición química y característica. Al estar agrupada como cianobacteria, la espirulina. Posee un tipo de pared celular característica que logra favorecer su digestibilidad; adicionalmente sus constituyentes son perfectamente asimilables sin necesidad de cocción, ni de cualquier otro tipo de tratamientos. De esta manera, incluso los constituyentes más frágiles (vitaminas, ácidos grasos esenciales, etc.) están disponibles sin degradación alguna. (Backer. 1992).

Todos los datos están basados en espirulina platensis y máxima

Tabla 3. Propiedades físicas de la espirulina

PROPIEDADES FÍSICAS	
APARIENCIA	Polvo fino
COLOR	Verde oscuro
OLOR Y SABOR	Fuerte; semeja a plantas marinas. Sin sabor
DENSIDAD	0.5 gramos/litro
TAMAÑO DE PARTÍCULA	9 – 25 m de diámetro medio

Tabla 4. Composición química de la espirulina

COMPOSICIÓN QUÍMICA		VALORES EXTREMOS	
		MÍNIMO	MÁXIMO
VALOR NUTRICIONAL	Total Nitrógeno orgánico %	10,85	13,35
	Total Nitrógeno proteico %	9,60	11,36
	Proteínas crudas (%N ´ 6.25)	60,00	75,00
	Relación eficiencia proteica %	2,2	2,6
	Utilización neta proteica %	53,00	61,00
	Digestibilidad %	83	84
Humedad residual %		4,0	7,0
Cenizas %		6,4	9,0
Proteínas %		60,0	75,0
Fibras crudas %		0,1	0,9
Xantófilas g/kg de producto		1,4	1,8
Beta-caroteno “		1,5	1,9
Clorofila A “		6,1	7,6
MINERALES	Calcio mg/kg	1045	1315
	Fósforo “	7617	8942
	Hierro “	475	580
	Sodio ”	275	412
	Cloruros “	4000	4400
	Magnesio ”	1410	1915
	Manganeso ”	18	25
	Zinc ”	27	39
	Potasio ”	13305	15400
	Otros ”	36000	57000
CARBOHIDRATOS TOTALES %		13,0	16,5
LÍPIDOS TOTALES %		6,0	7,0

Continuación Tabla 4

ÁCIDOS GRASOS	SATURA-DOS	Total ácidos grasos	%	4,9	5,7
		Laurico (C12)	mg/kg	180	229
		Mirístico (C14)	“	520	644
		Palmitico (C16)	“	16500	21141
		Esteático (C18)	”	trazas	353
	NO SATURADOS	Palmitoleico (C16)	“	1490	2035
		Palmitolinoleico (C16)	“	1750	2565
		Heptadecanoico (C17)	“	90	142
		Oleico (C18)	“	1970	3009
		Linoleico (esencial)	”	10920	13784
		d - Linoleico (esencial)	”	8750	11970
		a - Linoleico	mg/kg	699	7000
OTRAS SUSTANCIAS	Total ácidos insaponifico.	%	1,1	1,3	
	Esteroles	mg/kg	100	325	
	Alcoholes Triterpenos	“	500	800	
	Carotenoides	”	2900	4000	
	Clorofila A		6100	7600	
	3-4 Benzopireno		2,6	3,6	
	Colesterol		60	196	
	b - Sitosterol		30	97	
	Dihidro-colesterol 7, Colesterol-7-ol-3-Stigmasterol		10	32	
a - Caroteno (promedio)			mg/kg	trazas	
b - Caroteno (promedio)			“	1700	
XANTOFILAS	Criptoxantina (promedio)	“	1600		
	Equinenona	“	”	556	
	Zeaxantina	“	”	439	
	Luten y Euglenanona			“	289
VITAMINAS				PROMEDIO	
Biotina (H)			mg/kg	0,4	
Cianocobalamina (B12)			“	2,0	
d - Ca – Pantotenato			”	11,0	
Ácido Fólico			”	0,5	
Inositol			”	350,0	
Acido Nicotínico (PP)			”	118,0	
Piridoxina (B6)			”	3,0	
Ridoflavina (B12)			”	40,0	
Tiamina (B1)			”	55,0	
Tocoferol (E)			”	190,0	

Fuente:HENRIKSON R. Spirulina, Súper alimento del futuro, Propiedades químicas de espirulina y fundamentos limnológico; Ed. universidad de Antioquia. México 1994. pág. 30 [Enlínea]. [Fecha de consulta: el 12 de Junio del 2013 a las 10h0].Disponible en: <http://www.antena.ch/manual/cultivo.html>. [9]

1.1.2.9.1. Proteínas. El contenido de proteínas en espirulina. Oscila entre 50 a 70% de su peso seco, esta concentración es totalmente excepcional en los microorganismos, e incluso las

mejores fuentes de proteínas vegetales no llegan más a la mitad de la misma; así la harina de soya por ejemplo, no más del 35% de proteína bruta. En la tabla 2, se muestran comparativamente el contenido proteico entre alimentos clásicos tomados como fuente de proteína y espirulina.

El contenido proteico alcanza una variación entre 10 y 15% para espirulina, dependiendo del periodo al momento de la recolección; así, los valores más altos se han obtenido al comienzo del periodo luminoso.

El complemento espectro de aminoácidos indica que el valor biológico de las proteínas de espirulina es muy alto, y que el óptimo, podrían alcanzarse por complementación con una buena fuente de aminoácidos azufrados y eventualmente de lisina y/o histidina. Cereales como el arroz, trigo y mijo o algunas oleaginosas como el sésamo podrían ser excelentes complementos.

Al contrario de otros microorganismos propuestos como fuentes de proteínas (levaduras, Chlorella, Scenedesmus, etc.). espirulina, no contiene paredes celulósicas, sino una cubierta de mureína, relativamente frágil. Este hecho explica la buena digestibilidad de sus proteínas, que es del 83 al 90%, cuando es sometida al secado simple. [10]

Tabla 5. Contenido proteico de diferentes alimentos

Tipo de Alimento	(%) Proteína
Espirulina en Polvo	65
Huevo entero secado	47
Levadura de cerveza	45
Leche en polvo	37
Soya entera en harina	34
Queso tipo parmesano	34
Germen de trigo	27
Maní	26
Pollo	24
Pescado	22
Carne de res	22

Fuente: SANCHEZ,P. Contenido proteico y vitaminas en la espirulina. Tesis maestría. Facultad de Ciencias. Pontifica Universidad Javeriana. 2003; Bogotá, p. 27[En línea], [Enlínea].[Fecha de consulta: el 12 de Junio del 2013 a las 10h0].Disponible en:www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/.../08_Tema_3_Taxonomía.pdfhttp:

1.1.2.9.2. Carbohidratos. Constituyen globalmente del 15 a 25% de la materia seca en espirulina. Los glúcidos simples únicamente están presentes en muy pequeñas cantidades y estos son glucosa, fructosa y sacarosa; se encuentran también polioles, como: glicerol, manitol y sorbitol (Belay, 2002).

La parte esencial de estos compuestos, está constituida por polímeros como glucosas (1.9% del peso seco) y ramnosanos aminados (9.7%) y también glucógeno (0.5%).

Desde el punto de vista nutricional, la única sustancia glucídica interesante por su cantidad en espirulina, es el fosfato de mesoinositol, que constituye una excelente fuente de fosforo orgánico, así como el inositol (350 – 850 mg/kg materia seca). El contenido de este último, es casi 8 veces mayor han encontrado en la carne de res y muchos cientos de veces el de los vegetales más ricos en este constituye, (Belay, 2002).

Los polisacáridos, podrían intervenir en los mecanismos de la reparación del ADN, lo que explicaría el efecto radio protector mencionado muchas veces para espirulina.

Se han presentado otras explicaciones para aclarar este efecto, como la neutralización de los radicales libres, generados por la irradiación. Esta neutralización rápida sería debida prioritariamente al β -caroteno.[11]

1.1.2.9.3. Lípidos. Aunque se informa de una concentración de 5.6% a 7% del peso seco espirulina en otras fuentes se señala más del 11% de lípidos, obtenidos mediante un procedimiento de extracción mejorada (Belay, 2002).

Estos lípidos totales pueden ser obtenidos en la fracción saponificable (83%), en la insaponificación (17%), la fracción saponificable está compuesta principalmente por 23% de monogalactosil y de digalactosil digliceridos, 5% de sulfoquinovosil diglicerido y 25% de fosfatidilglicerol. Los triglicéridos son escasos (0.3%).se detectan además, 4% de fosfolípidos no definidos (Tiboni, 1985). [12]

1.1.2.9.4. Ácidos grasos. Se considera que el hombre tienen las necesidades en ácidos grasos esenciales provenientes de la alimentación son de 1 a 2% para el adulto, y de 3% para los niños.

Actualmente está bien establecido, que el aporte de lípidos esenciales en la alimentación, influye (entre otros factores) sobre el sistema inmune, tanto humoral como celular, actualmente

se clasifican los ácidos grasos esenciales en dos grupos (n3 y n6), caracterizados por la posición de la saturación más próxima al grupo metilo terminal.

Como los ácidos n3 y n6 se convierten en el hombre a distintos derivados bioquímicos, que parecen tener efectos antagonistas, algunos especialistas recomiendan actualmente una relación de n6/n3 entre 4 y 5 respectivamente.

El ácido ω -linoleico representa del 10 a 20% de los ácidos grasos de *S. Máxima*, es decir 1- 2% del peso seco mientras que en *S. platensis* constituye el 40%, que es aproximadamente, el 4% de la espirulina.

Puede ser considerada como una de las mejores fuentes de este ácido, después de la leche humana y de algunos aceites vegetales poco comunes (aceite de onagra, borraja, pepita de casís y sobretodo de cáñamo).

Debe resaltarse la presencia de ácido γ -linolénico, (18:3n6), por el hecho de que no se encuentre en alimentos comunes y por su alto valor alimenticio. Este ácido graso, normalmente sintetizado en el hombre (a partir del ácido linoléico 18:2n6 de origen vegetal), puede ser también asimilado directamente, en caso de problemas o insuficiencia de su síntesis endógena.

La importancia de estos ácidos grasos se debe a su biotransformación, pues son los precursores de las prostaglandinas, leucotrienos y tromboxanos, mediadores químicos de las reacciones inflamatorias e inmunitarias.

Están también presentes otros ácidos grasos esenciales, como linoico, (18:2n6). Se destaca también una alta proporción de ácido palmítico (16:0), que representa más del 60% de lípidos en *S. máxima*, aunque sólo un 25% en *S. platensis*.

Existe cierta superioridad en esta última cepa en cuanto a su contenido de lípidos, ya que presenta una menor concentración de ácido palmítico (saturado) y una mayor concentración de ácido γ - linolénico (esencial) (Sánchez, 2003/a).

❖ **Lípidos insaponificables.** Aunque algunos trabajos subrayan la ausencia de esteroides, parece ser que estos productos representan 1,5% de la fracción no polar de los lípidos de *S. máxima*. Lo que representa una concentración aproximada al 0,015% del peso seco.

Los esteroides identificados son colesterol y en menor cantidad, β - sitosterol. En *Spirulina platensis* se encuentra en pequeñas cantidades campesterol y stigmasterol. Algunos

de estos esteroides podrían estar relacionados con algún tipo de actividad antimicrobiana de Spirulina [13]

1.1.2.9.5. Vitaminas

❖ **Provitamina A (β -caroteno).** El β -caroteno representa 80% de los carotenoides de espirulina; el resto está compuesto principalmente de ficoxantina y de criptoxantina. Se encuentran, entre 700 y 1700 mg de β -caroteno y aproximadamente 100mg de criptoxantina y ficoxantina por kilo de microalga seca; estos dos carotenoides son convertidos en vitaminas A por los mamíferos. En la tabla 3, se muestra la cantidad de pro-vitamina A y betacarotenos encontrados en espirulina, junto a otras vitaminas esenciales

La disponibilidad de los carotenoides de espirulina. Ha sido demostrada tanto en ratones, como en pollos (Mitchell, et al., 1990). Algunos estudios clínicos han comprobado la excelente utilización en el humano: un trabajo efectuado con 5000 niños Indios en edad pre-escolar, demostró la eficiencia de suministrar 1g/día de espirulina. En el tratamiento de la deficiencia crónica de vitamina A. Después de 5 meses de tratamiento, la proporción de niños gravemente deficientes de vitamina A, pasó de 80% a 10%. Este estudio demostró que son suficientes dosis pequeñas de Spirulina spp., para reducir considerablemente los riesgos de ceguera y daños neurológicos consecuentes a la deficiencia de vitamina A en el infante.[14]

❖ **Vitamina E (tocoferoles).** Aproximadamente se encuentra de 50 a 190mg de vitaminas E por kilo de espirulina. Seca; contenido que es comparable al del germen del trigo. Las necesidades cotidianas en humanos de vitamina E serían de 15U.I es decir, 12mg de tocoferoles libres. Las propiedades antioxidantes del tocoferol para los ácidos grasos insaturados explicaría la buena conservación de espirulina. Seca.

❖ **Vitamina B12.** Es necesario subrayar el contenido excepcional, de la espirulina. En vitaminas B12 (cobalamina) que es la más difícil de obtener en un régimen vegetariano, ya que no la contiene ningún vegetal común. Es conveniente puntualizar que existe una controversia en lo que respecta a la biodisponibilidad real del complejo B12 de espirulina, en el hombre.

La carencia en vitamina B12, proviene ya sea de una falta de aportación (en el caso de regímenes vegetarianos estrictos) o deficiencia en la absorción. Por otro lado, parece ser que,

algunos estados patológicos traen consigo una deficiencia en vitamina B12, como es el caso de infecciones por VIH. [15]

Tabla 6. Contenido de vitaminas en espirulina

VITAMINA	Mgx100g ⁻¹ (peso seco)
Pro-vitamina A	2.330.000IUkg ⁻¹
(β-caroteno)	140
Vitamina E	10 a-tocoferol equiv
Tiamina B1	3.5
Riboflavina B2	4.0
Niacina B3	14.0
Vitamina B6	0.8
Vitamina B12	0.32
Ácido fólico	0.01
Biotina	0.005
Ácidopantoténico	0.1
Vitamina K	2.2

Fuente: SANCHEZ, A. Contenido proteico y Vitaminas en la espirulina. Tesis maestría. Facultad de Ciencias. Pontificia Universidad Javeriana. 2003; Bogotá, p. 30[En línea],[Fecha de consulta: el 12 de Junio del 2013 a las 10h0].Disponible en:www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/08_Tema_3_Taxonomía.pdf

1.1.2.9.6. Minerales. Los minerales de interés particular en espirulina, son: hierro, magnesio, calcio, fósforo y potasio. La tabla 4, muestra la composición total de minerales de espirulina. Debe enfatizarse el alto contenido en hierro de la espirulina, ya que la carencia de este mineral es muy frecuente, sobretodo en mujeres embarazadas y niños, debido a que las buenas fuentes de este elemento, en los alimentos no son muchas (Belay, 2002).

Por otro lado, los cereales completos, clasificados entre las mejores aportadoras de hierro, no contienen más de 150 a 250 mg/kg. Además, los suplementos administrados en forma de sulfato, pueden causar problemas de toxicidad y son frecuentes responsables de diarreas.

Los cereales son ricos en ácido fólico y en polímeros fosfatados que delimitan bastante la biodisponibilidad del hierro. En el caso de espirulina, su baja disponibilidad se ha demostrado tanto en ratones como en el hombre (Chamorro, et al., 1996).

El calcio, fósforo y magnesio están presentes en esta alga en cantidades comparables a las encontradas en la leche. Las cantidades relativas de estos elementos están equilibradas, lo que excluye el riesgo de descalcificación por exceso de fósforo.

Existe desafortunadamente muy poca información sobre el contenido de oligoelementos como el yodo en espirulina, pudiendo obtener por selección adaptación, variedades capaces de fijarlo (Becker, 1982). [16]

Tabla 7. Contenido de minerales en espirulina

Mineral	Mg 100g ⁻¹
Calcio	700
Cromo	0.28
Cobre	1.2
Hierro	100
Magnesio	400
Manganeso	5.0
Potasio	1400
Sodio	900
Zinc	3.0

Fuente: BELAY, R. The potential application of Spirulina (Arthrospira) as a nutritional and therapeutic supplement in health management. 2002; Bogotá, p. 30 [En línea], [Fecha de consulta: el 12 de Junio del 2013 a las 10h0]. Disponible en: www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/Taxonomía.pdf

1.1.2.9.7. Ácidos nucleicos. Tanto para espirulina en general, se informan concentraciones de 4.2 a 6% de ácidos nucleicos totales en materia seca. La proporción del ADN sería de un cuarto a un tercio en relación al ARN. El contenido de ácidos nucleicos en Spirulina, es muy inferior al de la mayoría de microorganismos productores de proteína unicelular.

El contenido de ácido nucleicos (ADN y ARN) es un aspecto nutricional importante, ya que la degradación bioquímica de una parte de sus componentes (purinas: adenina y guanina) produce finalmente ácido úrico. También puede suceder que una elevación de las concentraciones de este ácido en plasma, puede producir a la larga, cálculos renales y crisis de gota.

Se admite, generalmente que la dosis máxima permisible a larga plazo de ácidos nucleico, para un adulto es de alrededores de 4 g por día.

Cabe señalar que el ARN produce dos veces más ácido úrico que el ADN para un mismo contenido en purinas y que su aumento depende también de múltiples factores, como la edad, sexo, o también la obesidad. [17]

1.1.2.10. Usos generales

- Aplicaciones Terapéuticas
- Acción Antialérgica.
- Efecto Anti anémico
- Acción Anticoagulante
- Acción Antiinflamatoria
- Efecto Antióxido
- Protección cardiovascular
- Inmuno estimulante

1.1.2.10.1. Aplicaciones Comerciales

- Acuicultura
- Tratamiento de aguas negras

1.1.2.11. La espirulina en el Ecuador. La principal planta productora de espirulina de Ecuador, se encuentra en la sierra, a 30 kilómetros de Quito, en Pintag. El cultivo de esta microalga, reconocida por el Fondo de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) como el alimento más nutritivo del planeta, se realiza bajo un sistema único de unidades productivas, conformado por fosas de cultivo y piscinas bajo invernadero, que, después de un proceso de transformación dirigido, termina como un polvo verde azulado tonalidad que garantiza su pureza y calidad, que es exportado a Estados Unidos, Colombia, Perú, Argentina, Bélgica, Francia, República Checa y Alemania.

Según Peter Mertens, experto y gerente de la planta de espirulina en Pintag, el viejo sistema no garantiza la calidad del producto, por su exposición a la contaminación ambiental. La salud de las microalgas que crecen en la profundidad de las piscinas se ve afectada porque no están expuestas a la turbulencia por bombeo necesaria para que crezcan, además de que no reciben las cantidades de luz adecuada y no pueden deshacerse del oxígeno que producen, llevándolas a un estado oxidativo. También, el ambiente costero expone a la espirulina a una alta carga bacteriana.

2. SECADO

2.1. Secado

Se trata de una operación unitaria que consiste “en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de una material sólido con el fin de reducir el contenido del líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo”.

“El secado es una operación en la que se produce transferencia de energía para evaporar el líquido y transferencia de masa de contacto gas – sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, en base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa. Cuando estas dos presiones se igualan, se dice que el sólido y el gas están en equilibrio y el proceso de secado cesa”. [18]

2.2. Estática de secado

Es el comportamiento del sólido, depende si es soluble e insoluble, directo al sólido húmedo o bien como higroscópico.

2.2.1. Sólido húmedo. Es aquel cuya presión del vapor de agua que acompaña al sólido es igual a la presión de agua pura a la misma temperatura, el cuerpo húmedo es totalmente inerte para el agua que le acompaña.

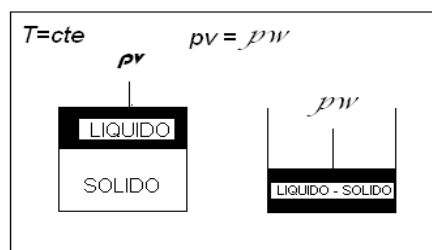


Figura 4. Tensión de vapor de líquido contenido en el sólido y del líquido puro a una misma temperatura.

2.2.2. Sólido higroscópico. Es el que tiene una presión de vapor que acompaña al sólido menor a la del agua pura a la misma temperatura, el cuerpo higroscópico modifica la tensión de vapor del agua que esta ocluida en sus poros o entre las partículas del mismo.

$$p_v \geq p_w \quad (1)$$

Al aumentar la humedad del cuerpo higroscópico, la tensión del vapor del agua también aumenta hasta alcanzar la tensión de vapor del agua pura y el cuerpo higroscópico empieza a comportarse como húmedo mientras la temperatura permanece constante.

2.2.3. Humedad inicial del sólido. El contenido de humedad en un sólido puede expresarse en base húmeda o seca.

Generalmente en los cálculos se hace referencia a la humedad en base seca, debido a que la masa del sólido seco permanece constante durante el secado.

$$X = \frac{\text{masa de agua}}{\text{masa de sólido seco}} \quad (2)$$

2.2.4. Agua evaporada. Este cálculo se realiza solamente con la transformación de unidades en base a la densidad del agua y el volumen obtenido después que el volumen se mantenga constante.

$$w = \rho * V \quad (3)$$

2.3. Velocidad de secado

La velocidad de secado se define como la pérdida de humedad del sólido húmedo por unidad de tiempo operando a condiciones constantes de temperatura, presión y humedad.

$$W = \frac{S}{A} * \left(-\frac{\partial x}{\partial t} \right) \quad (4)$$

Donde:

W: Velocidad de secado (kg agua/h*m2)

S: Masa de sólido seco (kg/s)

(-dx/dt): Disminución de humedad en función del tiempo (kg agua/h*kgss)

A: Área de la cámara de secado

2.3.1. Curvas de velocidad de secado. La velocidad de secado se realiza en una serie de etapas en que la velocidad no es la misma durante todo el proceso. “La representación gráfica de la velocidad de secado frente a la humedad del producto se denomina curvas de secado, y serán diferentes según sea el tipo de producto a deshidratar”

La forma de la curva de velocidad de secado varía con el tipo de material, el espesor la presión y temperatura.

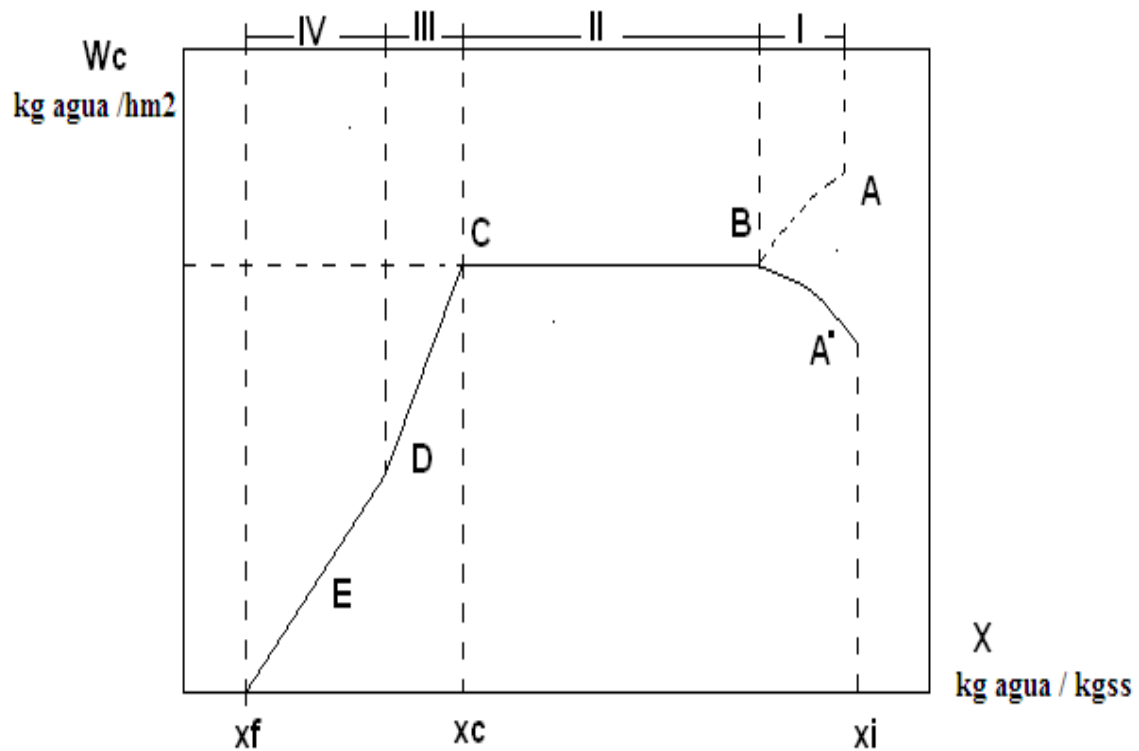


Figura 5. Comportamiento del secado (Régimen vs. Humedad)

La representación gráfica de la humedad del sólido en función del tiempo de secado se denomina curva de régimen de secado y es obtenida experimentalmente.

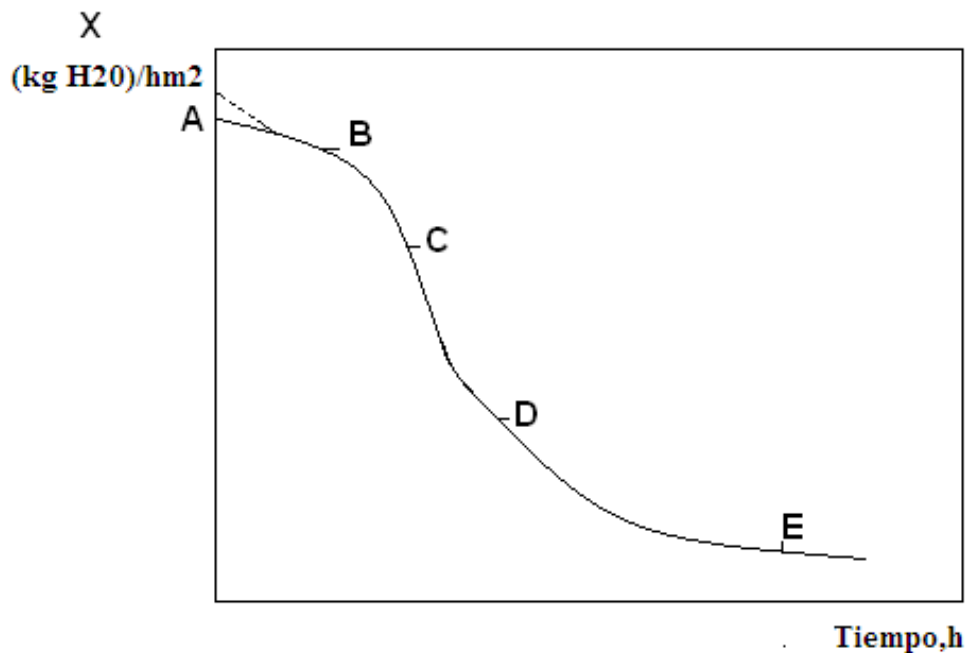


Figura 6. Curva de régimen de secado

2.4. Periodo de secado

Se puede apreciar dos partes notorias de la curva de régimen de secado: un periodo de régimen constante y uno de caída de régimen, aunque teóricamente se pueden apreciar tres.

2.4.1. Periodo de ajuste (Etapa A- B). Es una etapa de calentamiento o enfriamiento inicial del sólido, en la cual la evaporación no es significativa, ni en intensidad ni en cantidad. En esta etapa el sólido se calienta desde la temperatura ambiente hasta el equilibrio entre el enfriamiento por evaporación y la absorción de calor de los gases. Este equilibrio se alcanza a la temperatura de bulbo húmedo del gas.

2.4.2. Periodo constante (Etapa B-C). Es el llamado el primer periodo de secado o periodo de velocidad de secado constante. En este periodo el sólido tiene un comportamiento no higroscópico. La velocidad de secado se mantiene constante si el gas tiene un estado estacionario y en general depende solo de las propiedades y velocidad del mismo. Si durante el proceso, el gas se enfría, la velocidad de secado decrece pero sigue en esta zona dependiendo de factores externos al sólido.

Durante este periodo la temperatura del sólido se mantiene igual a la de bulbo húmedo del gas, ya que se mantiene el equilibrio alcanzando al final de la etapa de calentamiento.

2.4.3. Periodo de caída (Etapa C-E). Es el segundo periodo de secado o periodo de velocidad se secado decreciente, donde se evapora la humedad ligada del material y predominan las condiciones internas y externas simultáneamente.

En estas condiciones el sólido tiene un comportamiento giroscópico .durante el periodo, la temperatura del material sobrepasa la del bulbo húmedo debido a que el descenso de la velocidad de secado rompe el equilibrio térmico que mantiene estable la temperatura y una parte considerable del calor se emplea en un calentamiento del sólido.

Ahora la humedad deberá ser extraída del interior del material con el consiguiente incremento de la resistencia a la evaporación.

Este periodo de velocidad decreciente puede dividirse en dos partes, con diferentes comportamientos de la velocidad de secado, las que decrecen cada vez más al disminuir la humedad del sólido.

Un parámetro muy importante a determinar en los materiales a secar es la humedad a la cual se cambia del primero al segundo periodo, llamada humedad critica, esta depende del tipo del material y de la relación de secado en el primer periodo.

La forma de la curva de secado en el segundo periodo varia en dependencia de las características del material a secar.

2.5. Coeficiente total de transporte de calor

El coeficiente de transporte de calor varía dependiendo del mecanismo de paso del calor al sólido húmedo que puede ser por conducción, convección y radiación.

2.5.1. Transmisión de calor por convección. Cuando la trasmisión de calor se realiza por convección desde el aire caliente a la superficie húmedo del sólido, el coeficiente total de transferencia de calor es igual al coeficiente de convección.

$$U = hc \quad (5)$$

Para el sistema aire – agua se tiene expresiones que permiten determinar el coeficiente de convección dependiendo de las condiciones de trabajo, así:

a) Para flujo de aire paralelo a la superficie del sólido y la velocidad másica G comprendida entre 2500 y 3000 kg/hm².

$$hc = 0,0175 G^{0,8} \quad (6)$$

Dónde:

hc = Coeficiente de convección, $\left[\frac{\text{Kcal}}{\text{hm}^2\text{°C}} \right]$

2.5.2. Transmisión de calor por convección y radiación

En este caso el coeficiente total de transferencia de calor es la suma de los coeficientes de convección y radiación.

$$U = hc + hr \quad (7)$$

En el que:

$$hr = \frac{4,92 \varepsilon_s \left[\left(\frac{T_s}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_p}{100} \right)^4 \right]}{T_s - T_p} \quad (8)$$

Dónde:

ε_s = Emisividad del sólido

T_s = Temperatura de la superficie caliente

T_p = Temperatura de la superficie fría.

2.5.3. Transferencia de calor por conducción, convección y radiación. Este es el caso típico de los secadores de bandejas donde la transmisión de calor por convección llega desde el flujo de

aire, la transmisión por radiación desde la bandeja superior y la conducción a través del contacto con la superficie caliente, obteniéndose la siguiente ecuación:

$$U = hc + hr \left[1 + \frac{\frac{A_B}{A}}{1 + \frac{\epsilon}{k}(hc + hr)} \right] \quad (11)$$

$$U = \frac{Q}{A^*(T_s - T_b)} \quad (12)$$

$$Q = M_i * C_p \frac{T_c - T_l}{\theta_{total}} \quad (13)$$

2.6. Secado al vacío

2.6.1. Generalidades. Los principios del secado al vacío que rigen al sistema son la reducción en el punto de ebullición de un líquido sometido a depresiones y la velocidad acelerada en el punto de ebullición. La disminución en las depresiones no solo determina que el secado se produzca en o sobre el punto de ebullición del agua, sino que eleva la diferencia de temperatura entre el medio calentador y el material, determinando así una mejor transmisión de calor.

El secado al vacío es un secado indirecto, en el que el producto se seca por transferencia de calor por conducción, esta transferencia se efectúa a través de una superficie conductora que separa la corriente del proceso del medio calefactor, es decir, el secado se realiza entre el material mojado y una superficie sin la presencia de corrientes de aire caliente.

El secado al vacío es una operación unitaria que se caracteriza por usar temperaturas menores a las que en condiciones normales se requerirían para secar tal o cual cosa; esta disminución de la temperatura se consigue con una presión vacuométrica que hace que la presión absoluta disminuya; por eso se lo utiliza especialmente para secar materiales costosos, sensibles a la temperatura o que se oxiden con facilidad.

Los sólidos sensibles al calor necesitan equipos que tengan un control preciso de la temperatura así como un movimiento bien definido del gas. El uso del vacío demanda

recipientes a prueba de fuga de gases, componentes de descarga y alimentación que se puedan sellar. El sistema de vacío ideal aceptable debe ser pequeño y compacto; si es grande debe diseñarse para soportar presiones externas.

Los secadores al vacío son indirectos, pero dentro de este grupo pueden ser continuos o intermitentes, los primeros se caracterizan por tener buenos cierres, trabajar a presiones negativas de 680 a 710 mmHg, y permitir el secado continuo y la recuperación del solvente. Los intermitentes en cambio son empleados para evaporar y secar soluciones, dispersiones, pastas, sólidos granulares, frutas, etc.

Los secadores intermitentes a su vez se subdividen en estacionarios y agitados referidos al sólido.

Los principales equipos que se utilizan para producir vacío son las bombas de vacío y los eyectores. Las bombas de vacío actúan en rangos de presiones limitados, por ello el vacío se obtiene en varias etapas, su principal característica es la velocidad de bombeo, es decir, la cantidad de gas que elimina por unidad de tiempo.

Toda bomba de vacío tiene una presión de salida o límite superior, además se requiere conocer el tiempo que la bomba tarda en alcanzar la presión mínima como un medio de evaluarla.

2.6.2. Definición de vacío. De acuerdo a la Sociedad Americana de Vacío o AVS (1958), el termino vacío define como el espacio ocupado por gases a una presión total menor a la presión atmosférica, por lo que el grado de vacío se incrementa en él, directamente con la disminución de presión del gas residual, el vacío generado será mayor, permitiendo clases de grado de vacío en intervalos de presiones cada vez menores.

La palabra ‘vacío’ es usada para describir un rango muy amplio de condiciones, en un extremo, se refiere a un espacio sin materia, o más específicamente, a un espacio en el que el aire y otros gases están ausentes. Por otro lado, vacío es cualquier gas o aire a presión menor que la atmosfera.

Un ejemplo en condiciones aproximadas al primer significado son: las presiones existentes en la entrada de una aspiradora de polvo.

Hay diferentes clases de vacío, bajo, medio, alto, muy alto, ultra alto, extremo, y en cada caso la presión es menor (o el vacío es cada vez mayor). Cada régimen de vacío tiene un comportamiento deferente.

A continuación se muestra una tabla con los rangos de presiones de los diferentes tipos de presiones.

Tabla 8. Rangos de vacío

GRADO DE VACÍO	RANGO DE PRESIÓN(Pa)
Bajo	$10^5 > P > 3.3 \times 10^3$
Medio	$3.3 \times 10^3 \geq P > 10^{-1}$
Alto	$10^{-1} \geq P > 10^{-4}$
Muy alto	$10^{-4} \geq P > 10^{-7}$
Mucho más alto	$10^{-7} \geq P > 10^{-10}$
Extremadamente alto	$10^{-10} > P$

Fuente: VONSHAK, P. Sociedad Americana de Vacío. 2003; Nueva York, pág. 74 [En línea], Fecha de consulta: el 18 de Junio del 2013 a las 13h0]. Disponible en: www.ucv.ve/h.sociedadamericanaDEVACIO.pdf

2.6.3. Aplicaciones del secado al vacío y del uso del vacío. Existen diversas razones prácticas por las que es conveniente hacer vacío, a continuación referimos algunos casos:

- a. La aspiradora es uno de los ejemplos más sencillos de sistemas que emplean vacío. Se usa para succionar objetos de varias decenas de gramos. Por lo general las aspiradoras son capaces de trabajar a una presión de 100 – 150 torr por debajo de la presión atmosférica del lugar (650 – 600 torr a nivel del mar).
- b. La tecnología de vacío es utilizada para extraer la humedad de los alimentos, químicos, productos farmacéuticos, etc., y los gases ocluidos (disueltos) en aceites plásticos, y otros líquidos.
- c. La producción de jugo de frutas y leche concentrada, son ejemplos de producciones a gran escala basadas en la concentración en vacío, para lo cual no se requiere de alta temperatura para evaporar el agua o solventes contenidos en los productos.
- d. Para remover los constituyentes de la atmósfera que pudieran causar una reacción física o química, como puede ser la oxidación, durante un cierto proceso, por ejemplo, la fundición en vacío de metales reactivos como el titanio.

- e. Para modificar una cierta condición de equilibrio que existe en condiciones ambientales normales, como para remover gas disuelto u ocluido o líquido volátil de la parte interna de un material, por ejemplo, en procesos de secado al vacío.
- f. Para aumentar la distancia que un átomo, molécula o electrón debe viajar antes de chocar con otro, lo cual ayuda a que en un cierto proceso las partículas se muevan sin colisión entre la fuente y el blanco, por ejemplo, en recubrimientos al vacío, aceleradores de partículas, cinescopios de televisión y monitores de computadoras. [19]

2.6.4. Limitaciones del secado al vacío. El secado al vacío, aunque se puede aplicar en muchos casos, no es de aplicación total, siendo necesaria la investigación antes de adoptar el tipo de secador. Desde el punto de vista de las altas intensidades de producción, los secadores al vacío son satisfactorios.

Sin embargo, su flexibilidad puede compensar con creces en muchos casos las desventajas de sus costos elevados en mano de obra, el alto costo de inversión para la cámara de vacío, el condensador y la bomba de vacío.

En definitiva, si se encuentra que los procesos de vacío son desventajosos, es por las limitaciones mecánicas de tamaño que tiene relación con el diseño del aparato y este aspecto es muy interesante tomar en cuenta los avances que se vayan logrando en la superación de estas limitaciones. [20]

2.6.5. Ventajas del secado al vacío. Las principales características por las que se opta un secado al vacío son:

- Permite modificar una cierta condición de equilibrio que existe en condiciones ambientales normales, para remover gas disuelto u ocluido o líquido volátil de la parte interna de un material, es decir, el secado se puede realizar a temperaturas muy bajas o altas si se requiere.
- Se logra obtener un producto que no estimula la proliferación de microorganismo
- El producto obtenido es muy homogéneo, tanto en propiedades como en apariencia.
- Permite que el producto seco conserve la mayoría de sus propiedades
- Es posible realizar un secado absoluto si se requiere.

- Permite controlar la temperatura y presión durante el proceso.
- El proceso de secado facilita la recuperación del líquido y del sólido seco que en algunos casos pueden ser polvos.
- Los equipos de secado al vacío ahorran espacio por sus tamaños reducidos, son más seguros y se caracterizan por no depender de las condiciones ambientales.
- Algunos equipos utilizados para este tipo de secado suministran calor por medio de vapor condensado, lo que hace que energéticamente sean más económicos.

2.6.6. Secado de alimentos. La causa principal del deterioro de los alimentos es el ataque de diferentes tipos de microorganismos como bacterias, levaduras y mohos debido principalmente de su contenido de agua.

El secado es una de las técnicas más antiguas utilizadas por el hombre para la conservación de los alimentos. Se calcula que más del 20% de todos los alimentos producidos en el mundo se pierden por acción de los microorganismos.

El secado es un método de conservación basado en la reducción de la actividad del agua de manera que sean atacados por los microorganismos. La actividad de agua se considera una herramienta que permite comprobar la calidad y vida útil de los productos.

Tabla 9. Actividad de agua mínima para el desarrollo de microorganismos

Microorganismos	H ₂ O,min
Bacterias	0,91
Levaduras	0,88
Hongos	0,80
Salmonella	0,92
EscherichiaColi	0,96

Fuente: WALTER, J. M. Biología molecular y biotecnología, segunda edición. 1997; Colombia, pág. 94 [En línea], Fecha de consulta: el 20 de Junio del 2013 a las 14h0]. Disponible en: [www.ucn.r.biotecnologia .pdf](http://www.ucn.r.biotecnologia.pdf).

3. PARTE EXPERIMENTAL

3.1. Diseño Experimental

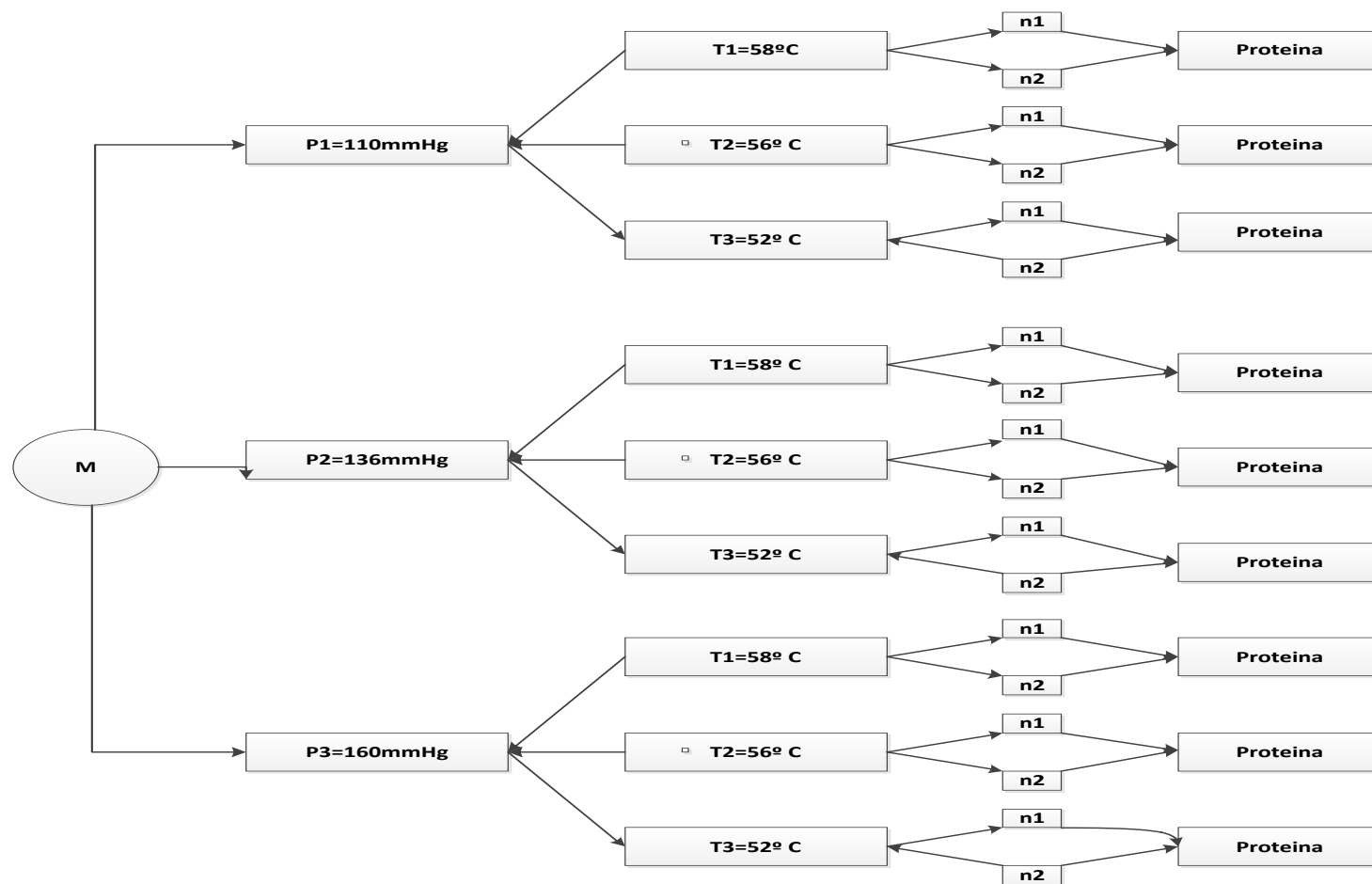
3.1.1. Secado al Vacío. El secado al vacío se realiza para muestras de espirulina de 30g. En el diseño experimental escogido, cada muestra será secada en la cámara de secado a diferentes condiciones de presión y temperatura, realizando dos ensayos para cada condición.

Variables: Se trabaja con las siguientes condiciones:

- a. Temperatura dentro de la cámara del secador: T1 (58°C), T2 (56°C) y T3 (52°C)
- b. Presión absoluta utilizadas: P1 (110 mm Hg), P2 (136 mm Hg) y P3 (160 mm Hg).

Las condiciones escogidas de temperatura no deben sobrepasar la temperatura recomendado para el producto determinado para Quito que es de 70°C. Cabe señalar que se trabaja con estas condiciones para evitar que las proteínas de la espirulina, se desnaturalicen y que los nutrientes de este se pierdan por efectos de la temperatura debido que es un alimento termolábil, es decir, sensible a la temperatura.

3.1.1.1. Esquema del diseño experimental de la Obtención del polvo de espirulina, por secado al vacío. Se realiza el análisis en proteína y microorganismos de la muestra, su contenido antes y después del proceso para determinar si la proteína ha variado por efecto de la presión y temperatura.



n= Número de ensayos a esas condiciones

Figura 7. Diseño Experimental de secado al vacío de la obtención de la espirulina

3.1.2. *Materiales y Equipo*

3.1.2.1. *Equipo para el secado al vacío*

- Cámara de secado de vidrio
- Condensador de vidrio
- Codo de vidrio
- Trampa de vacío
- Reverbero eléctrico
- Soportes universales
- Pinzas Universales
- Mangueras
- Malla metálica
- Adaptador de vidrio para termómetro y capilar
- Capilar de vidrio para medir la presión
- Recipiente de vidrio para muestra
- Probeta graduada de 30 cm³
- Manómetro diferencial ($A_p \pm 1 \text{ mmHg}$)
- Bomba de vacío $P = \frac{1}{4} \text{ HP}$
- Recipiente para baño térmico
- Balanza analítica ($A_p \pm 0,01 \text{ g}$)
- Termómetro -20 a 400°C, ($A_p \pm 2^\circ\text{C}$)
- Termómetro -10 a 250°C, ($A_p \pm 1^\circ\text{C}$)

3.1.3. *Sustancias y reactivos*

- Aceite térmico
- Agua destilada
- Biomasa (Espirulina)

3.1.4. *Procedimiento.* Se selecciona el tipo de espirulina, que se va a emplear para el secado, la misma que debe estar limpia y sin impurezas y se la congela para su conservación.

Antes de realizar el secado al vacío y por una sola vez al inicio de la investigación se determina la temperatura de ebullición del agua como referencia, somete la biomasa congelada a

calentamiento en baño María y se mide la temperatura en este cambio de estado físico, se homogeniza la muestra y se ubica parte superior de la cámara de vacío para proceder al secado.

3.1.4.1. Secado al vacío de la espirulina.

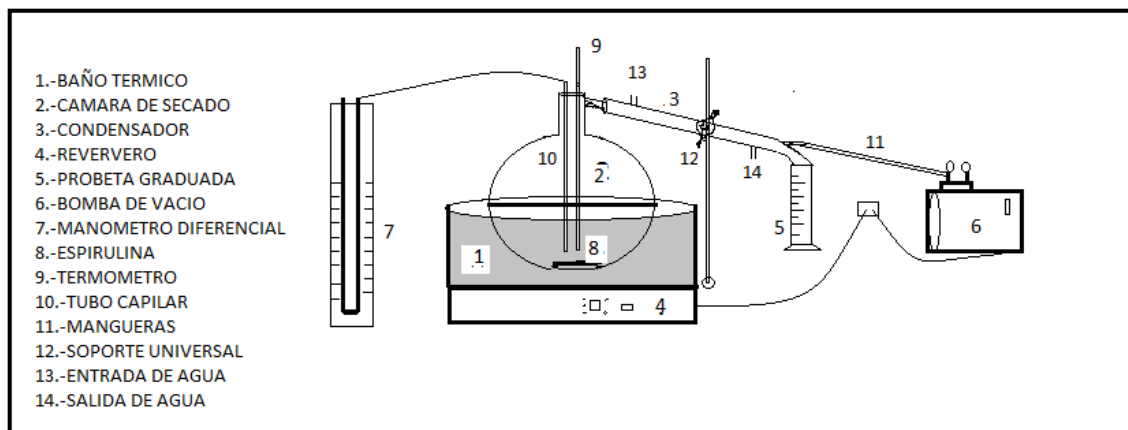
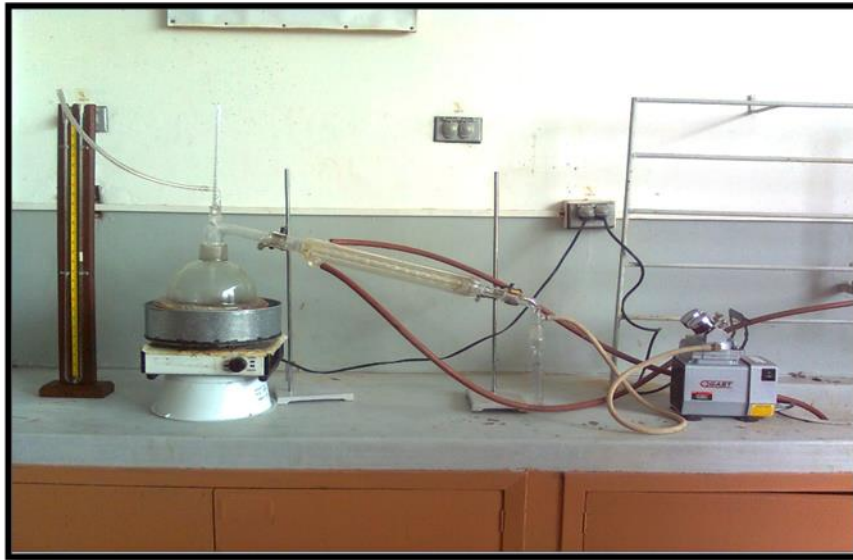


Figura 8. Equipo de Secado al vacío de la espirulina.

Preparar una muestra de biomasa de 30 g aproximadamente de espirulina.

- a. Precalentar el baño térmico hasta una determinada temperatura y proceder a colocar la espirulina contenido en un recipiente de vidrio en la cámara de secado, armar todo el equipo, abrir la línea de agua refrigerante para que se condense los vapores y abrir al mismo tiempo la línea de vacío.
- b. Fijar una presión y temperatura de trabajo.

- c. Empezar a cronometrar el tiempo y cada 5 minutos medir el agua condensado en la probeta, hasta que el volumen no varíe o hasta que el producto este seco.
- d. Cerrar las líneas de vacío y agua, abrir la cámara de secado y retirar la muestra, dejar enfriar y pesar.

3.1.4.2. Análisis bromatológico y microbiológico. El producto seco obtenido a las diferentes condiciones de secado al vacío, es sometido a un examen bromatológico, con la finalidad de verificar el contenido nutricional de la espirulina, que se realizó en el laboratorio de Bromatología de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de Calidad del Agro (Agrocalidad).

Para verificar que el producto seco cumple con los parámetros de higiene y asepsia se lo somete a un examen microbiológico, el que será realizado en el Laboratorio de Bacteriología y Lacticíneos de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Central del Ecuador.

3.2. Diseño del Proceso

A continuación se presenta un diagrama de bloques del proceso

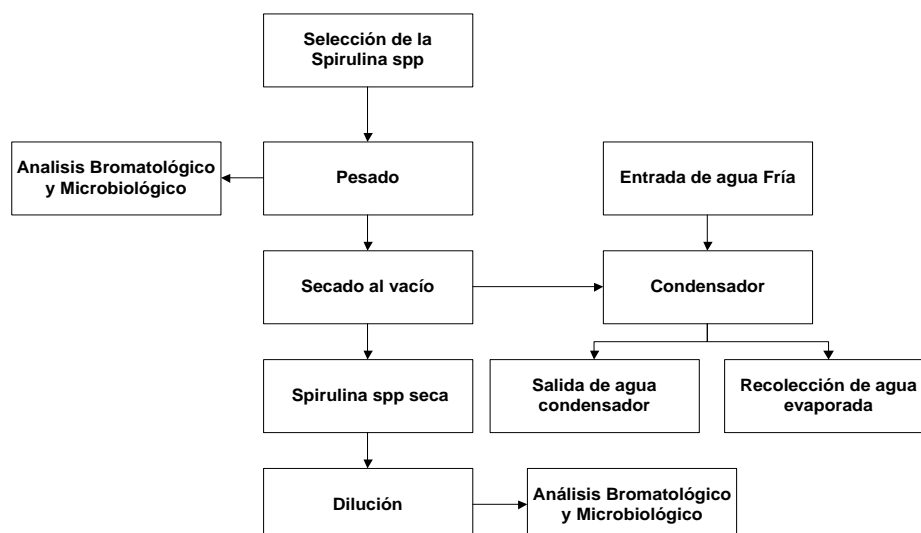


Figura 9. Diagrama de bloque del Diseño del Proceso.

3.3. Elaboración de la bebida a partir de la muestra seleccionada.

La Organización de Naciones Unidas (ONU) posee incluso un órgano que actúa como observador intergubernamental ante el Consejo Económico y Social de la ONU, denominado IIMSAM, por sus siglas en inglés, Institución Intergubernamental para la utilización de la Micro-Alga espirulina, Contra la Desnutrición con programas de alimentación con espirulina en distintos países del continente africano.

La espirulina ha sido denominada “súper-alimento”, por el perfil de su composición nutricional, pues es rica en proteínas (aminoácidos), vitaminas (principalmente A y K), minerales (principalmente (hierro), y contiene ácidos grasos esenciales (AGE). Por otro lado, Naciones Unidas subraya:

Según el Grupo Temático Mundial sobre Nutrición en su Guía de Gestión de la desnutrición en situaciones de emergencia (UNICEF, 2008), las dosis que se deben aportar de vitamina A para evitar tales efectos son:

- ✓ 50.000 UI en lactantes menores de 6 meses.
- ✓ 100.000 UI en lactantes de 6 a 12 meses.
- ✓ 200.000 UI en niños/as mayores de 12 meses de edad.

Estas dosis de Vitamina A, podrían ser aportadas por vía oral en 20 g, 50 g y 100 g de espirulina respectivamente, siendo su cultivo a pequeña escala y de manera artesanal prácticamente gratuito.

Resulta por tanto necesario conocer cuál es la ingesta diaria recomendada de espirulina (**Tabla 10**) así como la cantidad de nutrientes que esta dosis aporta y su proporción en cuanto a las necesidades de nuestro organismo.

Tabla 10. Ingesta diaria recomendada de espirulina

1 – 3 g	½ cucharada	inicio
3 g	1 cucharada	Consumo diario

Continuación Tabla 10

La ingesta diaria recomendada(IDR), de espirulina (3 g) aporta	
Energía:	12Kcal (0.6%CDR,para un adulto que requiera 2000k cal/día
Macronutrientes:	Proteínas: 2 g
	Carbohidratos: 0,6 g
	Lípidos: 1,5 g (de los cuales 16mg son AGE)
Vitaminas:	Liposolubles: Vitamina A:690UI / 4,2 mg – 138% CDR
	Liposolubles: Vitamina K: 60µg – 75%CDR
	Hidrosolubles: Vitamina B12: 6 µg – 99% CDR
Minerales:	Hierro: 3 mg – 17%CDR
CDR: cantidad diaria recomendada de nutrientes	

Fuente: HENRIKSON. 2009; Elaboración propia de datos publicados en IIMSAM; Medellín, pág. 104 [En línea], Fecha de consulta: el 15 de Julio del 2013 a las 8h0].Disponible en:www.iimsam.org.pdf.

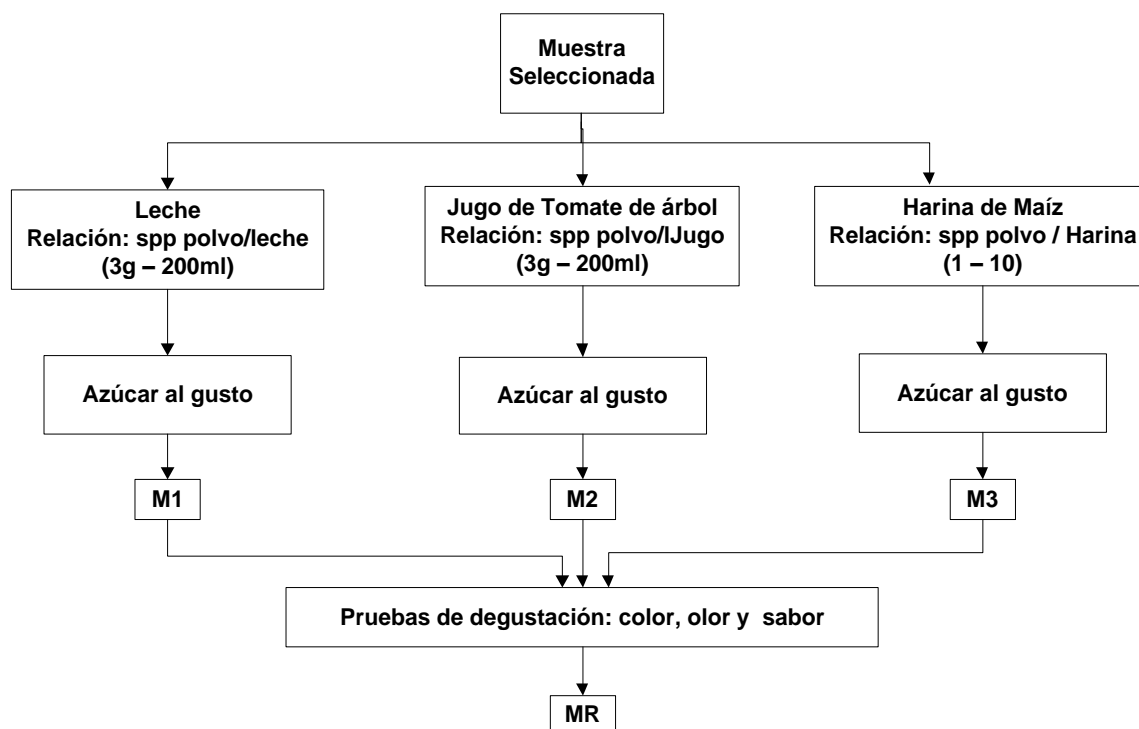


Figura 10. Diagrama de bloque de la elaboración de bebidas de la muestra seleccionada

3.4. Datos experimentales

3.4.1. Datos del proceso de secado al vacío

3.4.1.1. Secado al vacío a Presión de 110 mm Hg

a. Para $T=58^{\circ}\text{C}$

Tabla 11. Masa inicial promedio, masa final promedio después del secado a 58°C

N	Muestra inicial, kg	Muestra final, kg
1	0,03152	0,00416
2	0,03148	0,00437
promedio	0,03150	0,00427

Tabla 12. Volumen de agua recogida en función del tiempo a 58°C

Tiempo	V1	V2	V, promedio
Seg	ml	ml	ml
0	0,00	0,00	0,00
300	3,40	4,20	3,80
600	6,50	6,15	6,33
900	10,00	10,50	10,25
1200	13,00	14,10	13,55
1500	15,00	16,00	15,50
1800	16,40	17,10	16,75
2100	17,00	18,50	17,75
2400	18,40	19,00	18,70
2700	18,50	19,50	19,00
3000	18,50	19,80	19,15
3300	18,50	19,80	19,15
3600	18,60	20,00	19,30
3900	19,50	20,00	19,75
4200	19,50	20,00	19,75

b. Para T=56°C

Tabla 13. Masa inicial, y masa después del secado a 56°C

N	Muestra inicial ,kg	Muestra final, kg
1	0,03004	0,00455
2	0,03012	0,00457
promedio	0,03008	0,00456

Tabla 14. Volumen de agua recogida en función del tiempo a 56°C

Tiempo	V1	V2	V, promedio
seg.	ml	ml	MI
0	0,00	0,00	0,00
300	4,00	3,50	3,75
600	7,00	6,50	6,75
900	9,50	8,20	8,85
1200	11,50	9,70	10,60
1500	14,00	12,30	13,15
1800	15,50	14,30	14,90
2100	17,00	16,00	16,50
2400	18,00	17,50	17,75
2700	18,50	18,00	18,25
3000	19,60	18,80	19,20
3300	20,00	19,60	19,80
3600	20,50	19,80	20,15
3900	20,80	20,00	20,40
4200	20,80	20,20	20,50

c. Para $T=52^{\circ}\text{C}$

Tabla 15. Masa inicial y masa después del secado a 52°C

N	Muestra inicial, kg	Muestra final, kg
1	0,03245	0,00416
2	0,03280	0,00418
Promedio	0,03262	0,00417

Tabla 16. Volumen de agua recogida en función del tiempo

Tiempo	V1	V2	V, Promedio
seg	ml	ml	ml
0	0,00	0,00	0,00
300	4,50	3,80	4,15
600	8,00	7,60	7,80
900	11,20	10,50	10,85
1200	13,50	12,50	13,00
1500	15,00	14,00	14,50
1800	17,00	16,50	16,75
2100	18,00	17,00	17,50
2400	19,50	18,00	18,75
2700	20,00	19,50	19,75
3000	20,00	19,50	19,75
3300	20,00	20,00	20,00
3600	20,20	20,00	20,10
3900	20,20	20,50	20,35
4200	20,20	20,50	20,35
4500	21,00	21,00	21,00
4800	21,00	21,00	21,00

3.4.1.2. Secado al vacío a Presión de 136 mm Hg

a. Para T=58°C

Tabla 17. Masa inicial, y masa después del secado a 58°C

N	Muestra inicial ,kg	Muestra final, kg
1	0,03042	0,00438
2	0,03038	0,00434
Promedio	0,03040	0,00437

Tabla 18. Volumen de agua recogida en función del tiempo a 58°C

Tiempo	V1	V2	V, promedio
seg	ml	ml	MI
0	0,00	0,00	0,00
300	2,00	1,20	1,60
600	2,50	2,00	2,25
900	3,50	5,00	4,25
1200	4,00	7,00	5,50
1500	4,20	9,00	6,60
1800	5,50	11,60	8,55
2100	7,00	13,20	10,10
2400	8,20	14,20	11,20
2700	9,50	15,80	12,65
3000	10,00	16,50	13,25
3300	10,80	17,50	14,15
3600	12,00	17,60	14,80
3900	12,80	18,00	15,40
4200	14,00	18,20	16,10
4500	15,50	18,20	16,85
4800	17,00	18,20	17,60

b. Para T=56°C

Tabla 19. Masa inicial, y masa después del secado a 56°C

N	Muestra inicial, kg	Muestra final, kg
1	0,03034	0,00438
2	0,03044	0,00474
Promedio	0,03039	0,00456

Tabla 20. Volumen de agua recogida en función del tiempo a 56°C

Tiempo	V1	V2	V, promedio
seg.	ml	ml	ml
0	0,00	0,00	0,00
300	3,60	3,20	3,40
600	6,50	5,00	5,75
900	9,80	7,20	8,50
1200	13,20	9,40	11,30
1500	15,60	11,50	13,55
1800	16,80	12,50	14,65
2100	19,00	15,00	17,00
2400	20,00	16,00	18,00
2700	20,40	17,50	18,95
3000	20,60	18,20	19,40
3300	20,80	18,50	19,65
3600	20,80	18,60	19,70
3900	21,00	19,00	20,00
4200	21,00	19,00	20,00
4500	21,00	19,50	20,25
4800	21,00	19,50	20,25

c. Para T=52°C

Tabla 21. Masa de inicial, masa después del secado a 52°C

N	Muestra inicial ,kg	Muestra final, kg
1	0,03156	0,00345
2	0,03148	0,00347
Promedio	0,03152	0,00346

Tabla 22. Volumen de agua recogido en función del tiempo a 52°C

Tiempo	V1	V2	V, promedio
Seg	ml	ml	MI
0	0,00	0,00	0,00
300	1,50	0,70	1,10
600	3,50	2,50	3,00
900	4,60	2,80	3,70
1200	6,00	4,00	5,00
1500	7,50	5,00	6,25
1800	8,50	6,20	7,35
2100	9,80	7,00	8,40
2400	10,50	8,50	9,50
2700	11,80	9,20	10,50
3000	12,20	10,00	11,10
3300	13,20	11,60	12,40
3600	13,50	12,00	12,75
3900	13,80	13,00	13,40
4200	14,00	15,00	14,50
4500	14,50	15,20	14,85
4800	15,50	15,20	15,35
5100	15,80	15,50	15,65
5400	16,00	16,50	16,25
5700	16,50	18,00	17,25
6000	17,00	18,30	17,65

3.4.1.2. Secado al vacío a Presión de 160 mm Hg

a. Para $T=58^{\circ}\text{C}$

Tabla 23. Masa de inicial, masa después del secado a 58°C

N	Muestra inicial, kg	Muestra final, kg
1	0,03108	0,00443
2	0,0310	0,00445
promedio	0,03104	0,00444

Tabla 24. Volumen de agua recogido en función del tiempo a 58°C

Tiempo	V1	V2	V, promedio
seg	ml	ml	MI
0	0,00	0,00	0,00
300	3,80	3,20	3,50
600	5,00	4,00	4,50
900	9,00	8,00	8,50
1200	12,50	11,50	12,00
1500	15,00	14,00	14,50
1800	16,00	15,00	15,50
2100	18,00	17,50	17,75
2400	18,00	18,00	18,00
2700	20,00	18,50	19,25
3000	20,50	19,00	19,75
3300	21,00	19,50	20,25
3600	21,50	20,00	20,75
3900	21,50	20,00	20,75
4200	21,50	20,00	20,75
4500	21,50	20,00	20,75

b. Para $T=56^{\circ}\text{C}$

Tabla 25. Masa de inicial, masa después del secado a 56°C

N	Muestra inicial, kg	Muestra final, kg
1	0,03114	0,00427
2	0,03110	0,00425
promedio	0,03112	0,00426

Tabla 26. Volumen de agua recogido en función del tiempo a 56°C

Tiempo	V1	V2	V, promedio
seg		ml	ml
0	0,00	0,00	0,00
300	4,50	6,00	5,25
600	6,20	10,00	8,10
900	9,00	13,50	11,25
1200	11,20	16,00	13,60
1500	13,50	17,50	15,50
1800	15,00	18,50	16,75
2100	16,50	19,50	18,00
2400	18,00	20,00	19,00
2700	19,00	21,00	20,00
3000	19,20	21,50	20,35
3300	19,40	22,00	20,70
3600	19,50	22,00	20,75
3900	19,50	22,10	20,80
4200	19,50	22,20	20,85
4500	19,60	22,40	21,00
4800	19,60	22,40	21,00

c. Para $T=52^{\circ}\text{C}$

Tabla 27. Masa inicial y masa después del secado a 52°C

N	Muestra inicial, kg	Muestra final, kg
1	0,03135	0,00422
2	0,03130	0,00427
promedio	0,03132	0,00425

Tabla 28. Volumen de agua recogido en función del tiempo a 52°C

Tiempo	V1	V2	V, promedio
seg	ml	MI	MI
0	0,00	0,00	0,00
300	2,50	3,00	2,75
600	3,00	4,00	3,50
900	4,00	5,60	4,80
1200	5,50	6,20	5,85
1500	6,00	7,50	6,75
1800	7,50	8,50	8,00
2100	7,60	9,70	8,65
2400	8,40	12,00	10,20
2700	9,40	13,80	11,60
3000	10,00	14,00	12,00
3300	10,60	14,20	12,40
3600	12,20	15,00	13,60
3900	13,60	15,50	14,55
4200	15,20	17,00	16,10
4500	16,00	18,20	17,10
4800	17,20	18,20	17,70
5100	17,50	18,50	18,00
5400	17,50	18,50	18,00

4. CÁLCULOS

4.1. Secado al vacío

Los siguientes cálculos corresponden a la espirulina, secado a $T=52^{\circ}\text{C}$ y $P=110\text{ mm Hg}$ tomadas de las **Tabla 32**

4.1.1. Cálculo de agua evaporada

$$w = \rho \times v \quad (14)$$

Se asumen una densidad para el agua de 1g/ml

Temperatura del agua recogida es de 25°C

$$\omega = 1 \frac{\text{g}}{\text{ml}} \times 4.15 \text{ ml} = 4.15 \text{ g} = 0.00415 \text{ kg}$$

4.1.2. Cálculo del área de contacto

$$\text{Areacontac} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \quad (15)$$

Se asume que el área de contacto es el área del recipiente utilizado para el secado de la espirulina.

$$\text{Area..contacto} = \frac{\pi}{4} \times (5.5 \text{ cm})^2 = 23.75835 \text{ cm}^2 = 0.002375835 \text{ m}^2$$

4.1.3. Cálculo de la velocidad de secado

De la Figura 14: Diagrama de la masa de agua evaporada en función del tiempo $w=f(\text{tiempo})$, para la spirulina es de $T=52^{\circ}\text{C}$ y $P=110 \text{ mm Hg}$, se obtiene la siguiente ecuación:

$$X = -8 * 10^{-11} * t^3 + 9 * 10^{-7} * t^2 - 0,003 * t + 6,8078 \quad (16)$$

$$\frac{dx}{dt} = -24 * 10^{-11} t^2 + 18 * 10^{-7} t - 0,003 \quad (17)$$

Para $t=300\text{s}$

$$\frac{dx}{dt} = -0,003495$$

$$W = \frac{S}{A} \left(-\frac{dx}{dt} \right) \quad (18)$$

$$W = 0,006134 \text{ kg/sm}^2$$

4.1.4. Cálculo de humedad (en base humedad)

$$\%H = \frac{M_{\text{inicial}} - M_{\text{final}}}{M_{\text{inicial}}} * 100 \quad (19)$$

$$\%H = \frac{0.03262 - 0.00417}{0.03262} * 100 = 87,6\%$$

4.1.5. Cálculo de la masa de agua

$$M_{\text{agua}} = M_{\text{inicial}} - M_{\text{final}} \quad (20)$$

$$M_{\text{agua}} = 0.03362 - 0.00417 = 0.02945 \text{ kg}$$

4.1.6. Cálculo de agua libre

$$a.l. = M_{agua} - \omega \quad (21)$$

$$a.l. = 0.02945 - 0.00415 = 0.02530 \text{ kg}$$

4.1.7. Cálculo de la humedad libre.

$$X = \frac{a.l.}{M_{final}} \quad (22)$$

$$X = \frac{0.02530}{0.00417} = 6,0673 \frac{\text{kg} - \text{agua}}{\text{kg} - \text{ss}}$$

4.1.8. Cálculo de la humedad inicial

$$X.I. = \frac{M_{agua}}{M_{final}} \quad (23)$$

$$X.I. = \frac{0.02945}{0.00417} = 6.923 \frac{\text{kg} - \text{agua}}{\text{kg} - \text{ss}}$$

4.1.9. Cálculo de la humedad y velocidad crítica

De la Figura: 15 Diagrama $W=f(X)$, se obtiene el punto:

$$X_c = 6.8225 \frac{\text{kg} - \text{agua}}{\text{kg} - \text{ss}} \quad (24)$$

$$W_c = 0,00609 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2} \quad (25)$$

4.1.10. Cálculo de tiempos críticos

$$\theta_c = M_{Final} * \frac{X_l - X_c}{A * N_c} \quad (26)$$

$$\theta_c = 0.00417 * \frac{7.062 - 6.8225}{0.002375835 * 0.006090} = 69,278s$$

4.1.11. Cálculo de tiempo de caída

$$\theta^* = \theta_{Total} - \theta_c \quad (27)$$

$$\theta^* = 4800 - 69,278 = 4730,72 \text{ s}$$

4.1.12. Cálculo del coeficiente total de transporte

4.1.12.1. Cálculo de la cantidad de calor

$$Q = M_{inicial} * C_p * \frac{T_c - T_l}{\theta_{total}} \quad (28)$$

Según la ecuación de Siedel; recomienda la utilización de la ecuación para productos en polvo

$$Asumo : C_p = 0.008 * X + 0.2 \quad (29)$$

$$Asumo : C_p = 0.008 * 0,876 + 0,2 = 0.2070 \text{ kcal}$$

$$Q = 0.03362 * 0.2070 * \frac{52 - 18}{\frac{4800}{3600}} = 0,1774 \text{ Kcal / h}$$

4.1.12.2. Cálculo del coeficiente total

$$U = \frac{Q}{A * (T_s - T_b)} \quad (30)$$

$$U = \frac{0,1774}{0,0023567 * (89,56 - 52)} = 1,989 \frac{kcal}{hm^2 \cdot ^\circ C}$$

A = Área de contacto

T_s = Temperatura de saturación a 542mmHg ($^\circ C$)

C_p = Capacidad calorífica según la ecuación de Siedel

X = Humedad de la espirulina

T_b = Temperatura de cámara de vacío ($^\circ C$)

T_c = Temperatura externa ($^\circ C$)

U = Coeficiente Total de calor (kcal/hm²·°C)

Q = Cantidad de calor, (kcal/kg)

Tabla 29. Coeficiente total de calor para cada condición de secado al vacío de la espirulina

T	P	Q	Cp	U	M, inicial
$^\circ C$	mm Hg	kcal /h	kcal	kcal/hm ² ·°C	kg
58	110	0,1955	0,2069	2,6078	0,0315
	136	0,1677	0,2069	2,2364	0,0304
	160	0,2121	0,2069	2,8290	0,0320
56	110	0,1581	0,2068	1,9829	0,0302
	136	0,1797	0,2068	2,2538	0,0305
	160	0,1840	0,2069	2,3075	0,0312
52	110	0,1775	0,2070	1,9888	0,0336
	136	0,1332	0,2071	1,4925	0,0315
	160	0,1474	0,2069	1,6514	0,0314

4.1.13. Cálculo de la capacidad de succión máxima de la bomba de vacío

4.1.13.1. Cálculo de la diferencia de masa recogida (para t=300s)

$$\Delta \omega = \omega_1 - \omega_0 \quad (31)$$

$$\Delta\omega = 0,02845 - 0,02430 = 0,00415 = 0,415\%$$

4.1.13.2. *Calculo de número de moles*

$$n = \frac{g}{PM} \quad (32)$$

$$n = \frac{4.5}{18} = 0.25 \text{ moles}$$

4.1.13.3. *Calculo de la capacidad de succión*

$$V = \frac{n * R * T}{P} \quad (33)$$

$$V = \frac{0.25 * 0.082 * (273.15 + 52)}{110 / 760} = 200,45 \text{ litros}$$

$$\text{Capacidad de Succión} = \frac{200,45 \text{ litros}}{5 \text{ min}} = 40,09 \frac{L}{\text{min}}$$

Tabla 30. Capacidad de succión máxima de la bomba de vacío para cada condición de secado de la espirulina.

T, °C	P, mm Hg	Ag, max	n, mol	Capacidad, 1/5 min
58	110	0,42	0,2306	4,989
	136	0,11	0,0611	9,496
	160	0,28	0,1528	19,585
56	110	0,38	0,2083	39,323
	136	0,34	0,1889	29,711
	160	0,53	0,2917	37,849
52	110	0,41	0,2111	40,090
	136	0,25	0,1389	21,979
	160	0,35	0,1944	25,386

5. RESULTADOS

5.1. Resultados de la experimentación

5.1.1. Resultados parciales del secado al vacío a $P = 110 \text{ mm Hg}$

Tabla 31. Resultados parciales del secado al vacío a temperatura de 58°C

Tiempo	V1	V2	V promedio	M	dw/dt	N	a.l.	X
seg	ml	ml	ml	kg		kg/sm ²	kg	kg agua/kgss
0	0	0	0	0	-0,000370	0,0006650	0,0272	6,3794
300	3,4	4,2	3,8	0,00380	0,000230	0,0004130	0,0234	5,4895
600	6,5	6,15	6,33	0,00633	0,000829	-0,0014902	0,0209	4,8970
900	10	10,5	10,25	0,01025	0,001428	-0,0025666	0,0170	3,9789
1200	13	14,1	13,55	0,01355	0,002027	-0,0036423	0,0137	3,2061
1500	15	16	15,5	0,01550	0,002625	-0,0047172	0,0117	2,7494
1800	16,4	17,1	16,75	0,01675	0,003222	-0,0057913	0,0105	2,4567
2100	17	18,5	17,75	0,01775	0,003819	-0,0068646	0,0095	2,2225
2400	18,4	19	18,7	0,01870	0,004416	-0,0079371	0,0085	2,0000
2700	18,5	19,5	19	0,01900	0,005013	-0,0090089	0,0082	1,9297
3000	18,5	19,8	19,15	0,01915	0,005608	-0,0100799	0,0081	1,8946
3300	18,5	19,8	19,15	0,01915	0,006204	-0,0111501	0,0081	1,8946
3600	18,6	20	19,3	0,01930	0,006799	-0,0122196	0,0079	1,8595
3900	19,5	20	19,75	0,01975	0,007393	-0,0132883	0,0075	1,7541
4200	19,5	20	19,75	0,01975	0,007988	-0,0143561	0,0075	1,7541

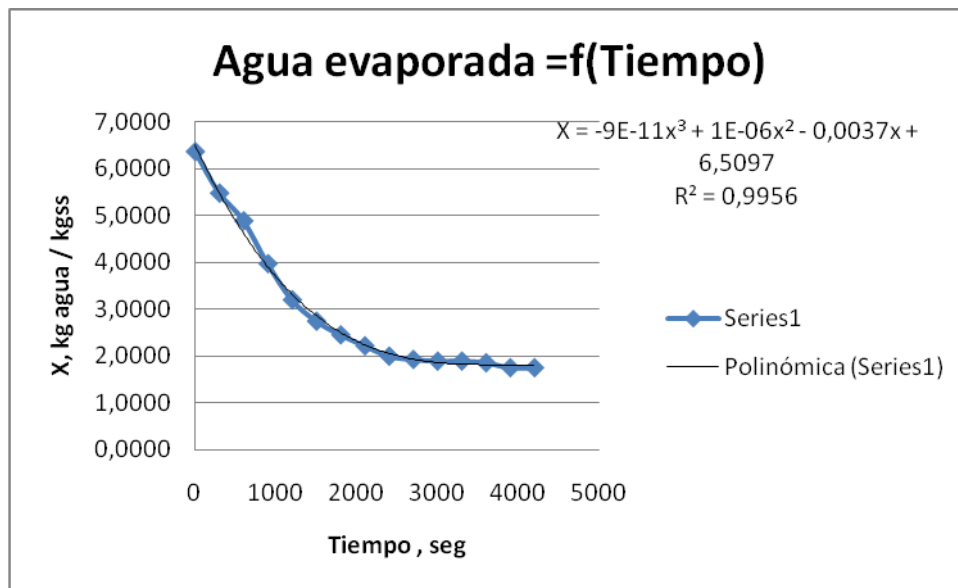


Gráfico 1. Masa de agua evaporada en función del tiempo de la Tabla 30

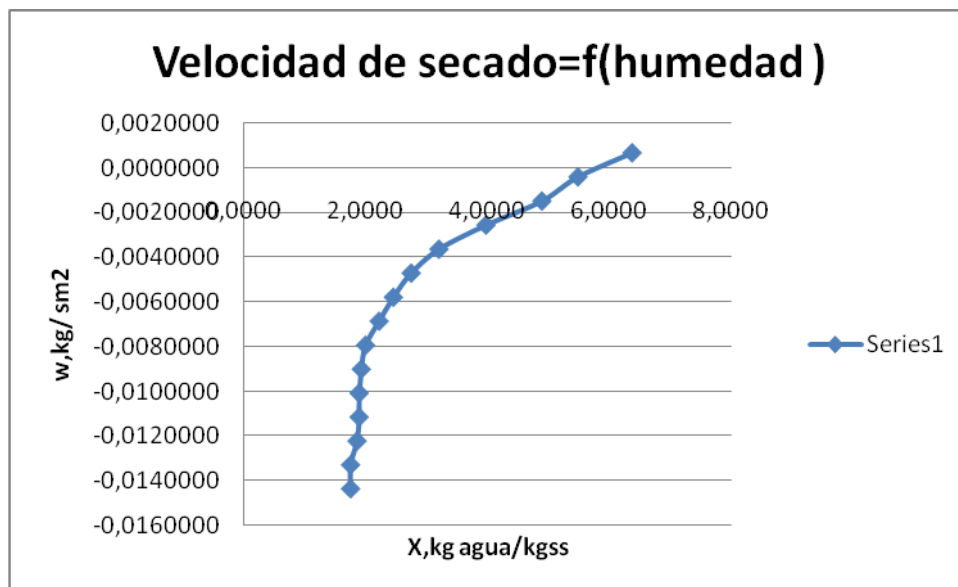


Gráfico 2. Velocidad de secado en función de la Humedad libre de la Tabla 30

Tabla 32. Resultados parciales del secado al vacío a temperatura de 56°C

Tiempo	V1	V2	V, promedio	M	dx/dt	W	a.l.	X
seg.	ml	ml	ml	kg		kg/sm ²	kg	kg agua/kgss
0	0	0	0	0	-0,002500	0,0047984	0,0255	5,5965
300	4	3,5	3,75	0,00375	-0,002291	0,0043964	0,0218	4,7741
600	7	6,5	6,75	0,00675	-0,002082	0,0039964	0,0188	4,1162
900	9,5	8,2	8,85	0,00885	-0,001875	0,0035985	0,0167	3,6557
1200	11,5	9,7	10,6	0,01060	-0,001669	0,0032027	0,0149	3,2719
1500	14	12,3	13,15	0,01315	-0,001464	0,0028090	0,0124	2,7127
1800	15,5	14,3	14,9	0,01490	-0,001259	0,0024173	0,0106	2,3289
2100	17	16	16,5	0,01650	-0,001056	0,0020277	0,0090	1,9781
2400	18	17,5	17,75	0,01775	-0,000855	0,0016402	0,0078	1,7039
2700	18,5	18	18,25	0,01825	-0,000654	0,0012548	0,0073	1,5943
3000	19,6	18,8	19,2	0,01920	-0,000454	0,0008714	0,0063	1,3860
3300	20	19,6	19,8	0,01980	-0,000255	0,0004901	0,0057	1,2544
3600	20,5	19,8	20,15	0,02015	-0,000058	0,0001109	0,0054	1,1776
3900	20,8	20	20,4	0,02040	0,000139	-0,0002663	0,0051	1,1228
4200	20,8	20,2	20,5	0,02050	0,000334	-0,0006414	0,0050	1,1009
4500	20,8	20,2	20,5	0,02050	0,000529	-0,0010144	0,0050	1,1009

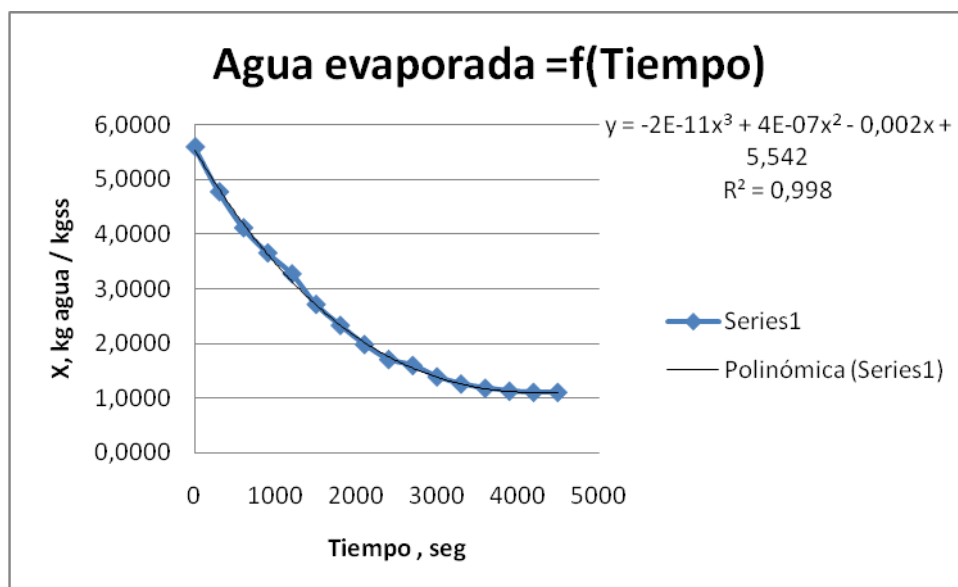


Gráfico 3. Agua evaporada en función del tiempo de la Tabla 31

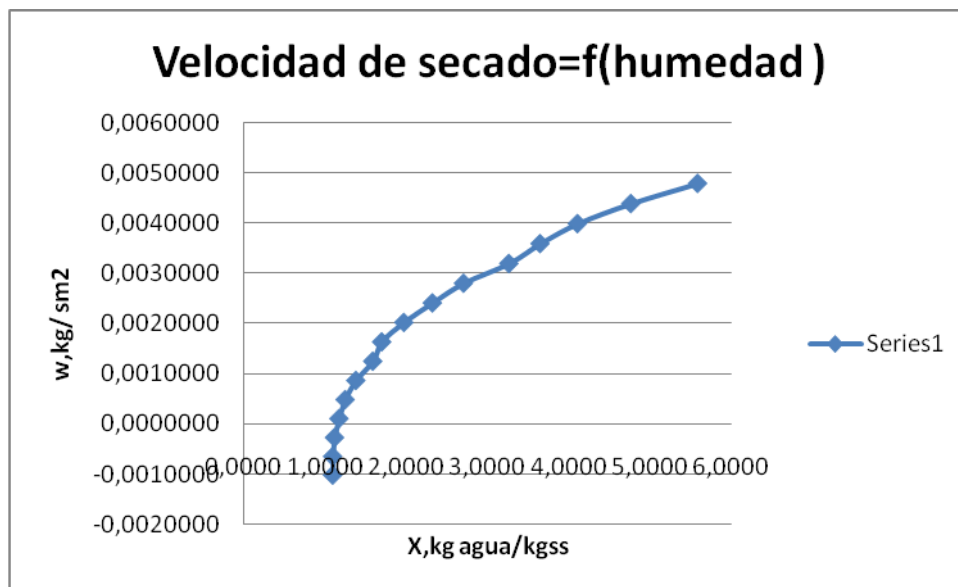


Gráfico 4. Velocidad de secado en función de la Humedad libre tiempo de la Tabla 31

Tabla 33. Resultados parciales del secado al vacío a temperatura de 52°C

Tiempo	V1	V2	V, Promedio	M	dx/dt	W	a.l.	X
seg	ml	ml	ml	kg		kg/sm ²	kg	kg agua/kgss
0	0	0	0	0	-0,003500	0,0061432	0,0285	6,8225
300	4,5	3,8	4,15	0,00415	-0,003495	0,0061341	0,0243	5,8273
600	8	7,6	7,8	0,00780	-0,003490	0,0061258	0,0207	4,9520
900	11,2	10,5	10,85	0,01085	-0,003486	0,0061182	0,0176	4,2206
1200	13,5	12,5	13	0,01300	-0,003482	0,0061113	0,0155	3,7050
1500	15	14	14,5	0,01450	-0,003478	0,0061053	0,0140	3,3453
1800	17	16,5	16,75	0,01675	-0,003475	0,0061000	0,0117	2,8058
2100	18	17	17,5	0,01750	-0,003473	0,0060954	0,0110	2,6259
2400	19,5	18	18,75	0,01875	-0,003471	0,0060916	0,0097	2,3261
2700	20	19,5	19,75	0,01975	-0,003469	0,0060886	0,0087	2,0863
3000	20	19,5	19,75	0,01975	-0,003468	0,0060863	0,0087	2,0863
3300	20	20	20	0,02000	-0,003467	0,0060848	0,0085	2,0264
3600	20,2	20	20,1	0,02010	-0,003466	0,0060841	0,0084	2,0024
3900	20,2	20,5	20,35	0,02035	-0,003466	0,0060841	0,0081	1,9424
4200	20,2	20,5	20,35	0,02035	-0,003467	0,0060848	0,0081	1,9424
4500	21	21	21	0,02100	-0,003468	0,0060863	0,0075	1,7866
4800	21	21	21	0,02100	-0,003469	0,0060886	0,0075	1,7866

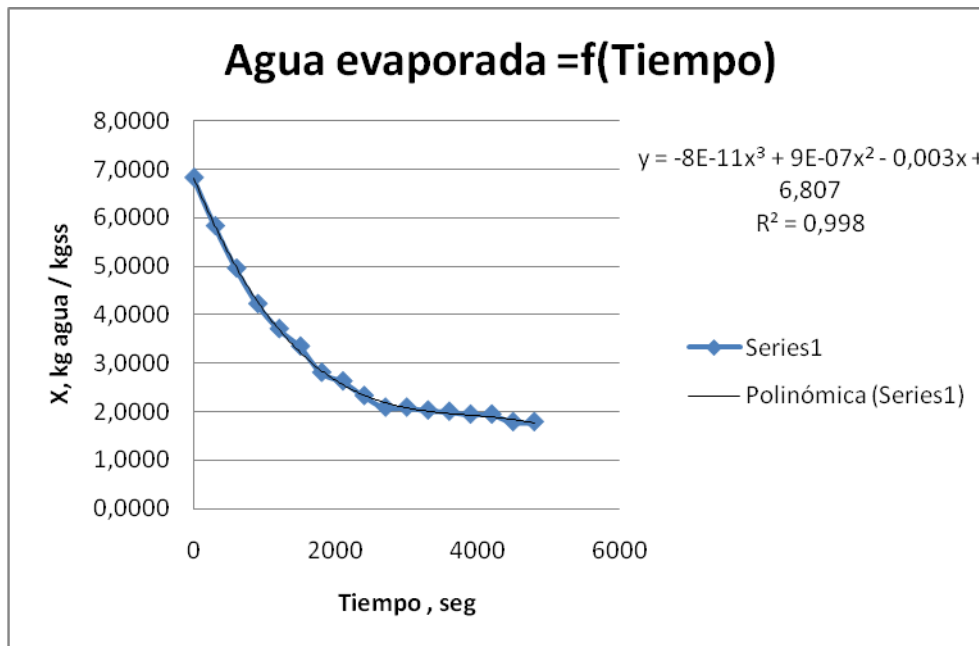


Gráfico 5. Masa de agua evaporada en función del tiempo de la Tabla 32

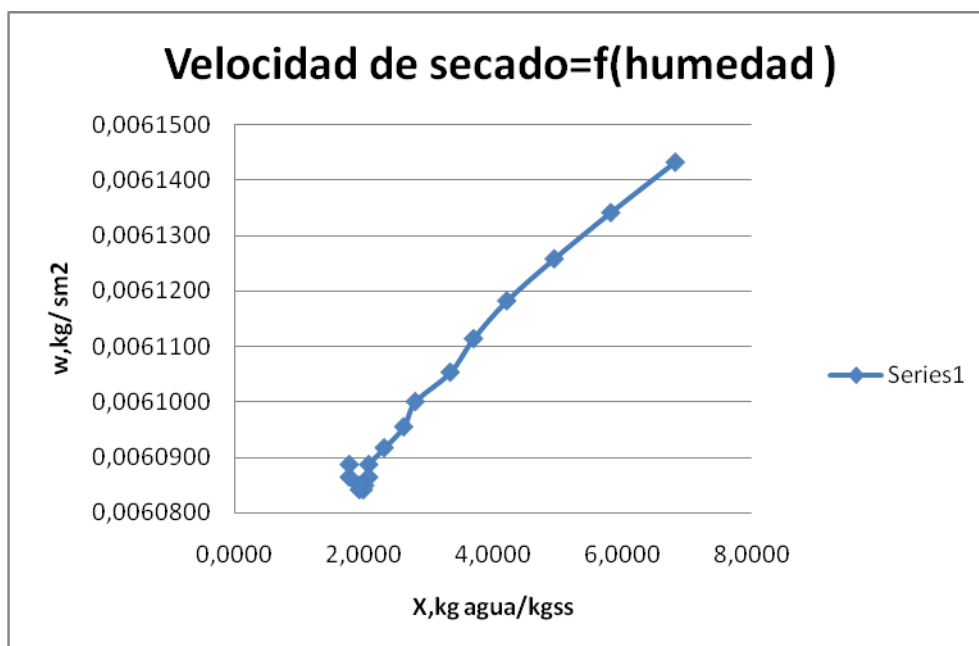


Gráfico 6. Velocidad de secado en función de la Humedad libre tiempo de la Tabla 32

5.1.2. Resultados parciales del secado al vacío a $P = 136 \text{ mm Hg}$

Tabla 34. Resultados parciales del secado al vacío a temperatura de 58°C

Tiempo	V1	V2	V, promedio	M	dx/dt	W	a.l.	X
seg	ml	ml	ml	kg		kg/sm ²	kg	kg agua/kgss
0	0	0	0	0	-0,00110	0,002	0,0260	5,9542
300	2,00	3,00	2,50	0,00250	-0,00111	0,002	0,0235	5,3822
600	2,50	3,50	3,00	0,00300	-0,00111	0,002	0,0230	5,2677
900	3,50	5,00	4,25	0,00425	-0,00111	0,002	0,0218	4,9817
1200	4,00	7,00	5,50	0,00550	-0,00110	0,002	0,0205	4,6957
1500	4,20	9,00	6,60	0,00660	-0,00109	0,002	0,0194	4,4439
1800	5,50	11,60	8,55	0,00855	-0,00107	0,002	0,0175	3,9977
2100	7,00	13,2	10,10	0,01010	-0,00105	0,002	0,0159	3,6430
2400	8,20	14,2	11,20	0,01120	-0,00102	0,002	0,0148	3,3913
2700	9,50	15,8	12,65	0,01265	-0,00099	0,002	0,0134	3,0595
3000	10,00	16,5	13,25	0,01325	-0,00095	0,002	0,0128	2,9222
3300	10,80	17,5	14,15	0,01415	-0,00091	0,002	0,0119	2,7162
3600	12,00	17,6	14,80	0,01480	-0,00086	0,002	0,0112	2,5675
3900	12,80	18,0	15,40	0,01540	-0,00080	0,001	0,0106	2,4302
4200	14,00	18,2	16,10	0,01610	-0,00074	0,001	0,0099	2,2700
4500	15,50	18,2	16,85	0,01685	-0,00067	0,001	0,0092	2,0984
4800	17,00	18,2	17,60	0,01760	-0,00060	0,001	0,0084	1,9268

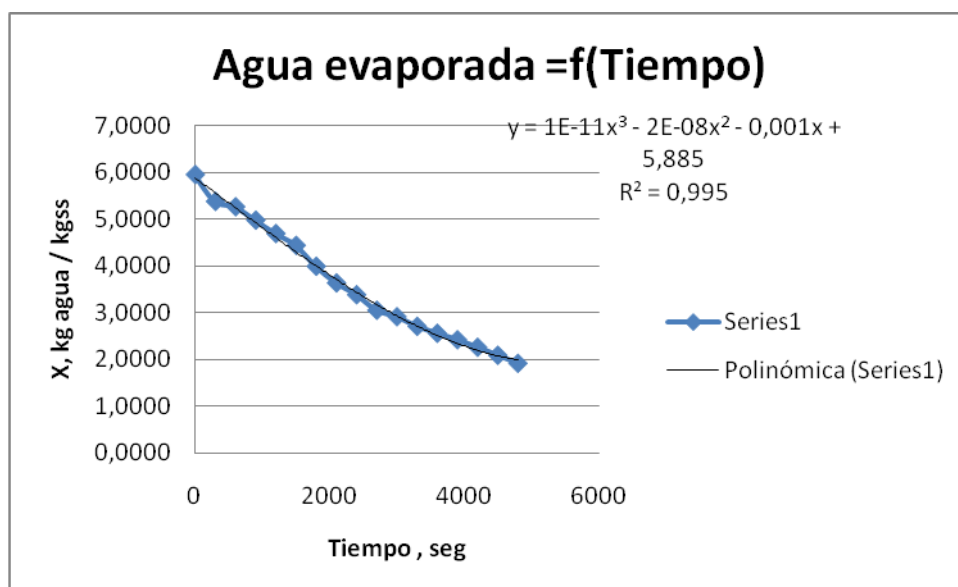


Gráfico 7. Masa de agua evaporada en función del tiempo de la Tabla 33

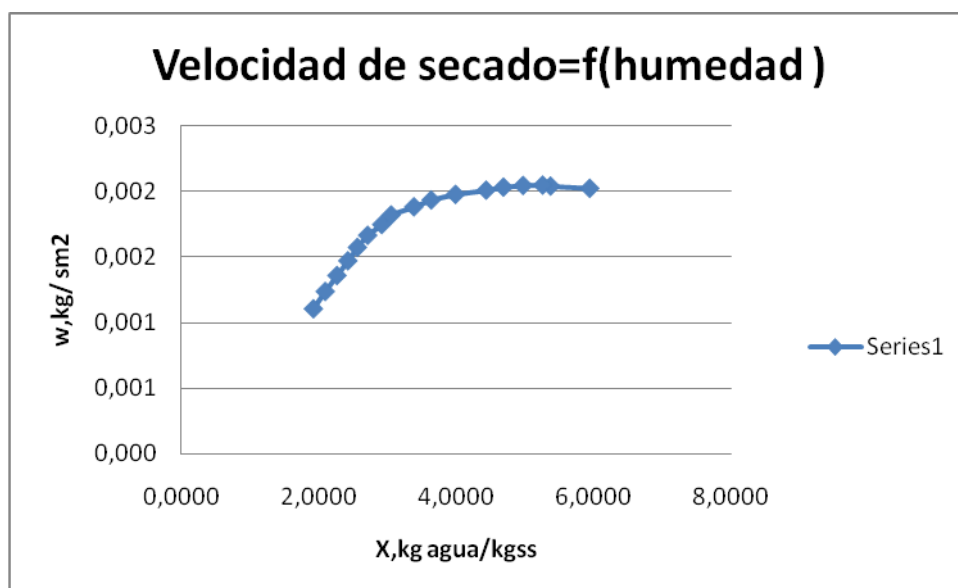


Gráfico 8. Velocidad de secado en función de la Humedad libre tiempo de la Tabla 33

Tabla 35. Resultados parciales del secado al vacío a temperatura de 56°C

Tiempo	V,promedio	M	dw/dt	W,	a.l	X
seg.	ml	kg		kg/sm ²	kg	kg agua/kgss
0	0	0	0,00001	0,004209	0,0258	5,6645
300	3,4	0,0034	0,000005	0,0019475	0,0224	4,9189
600	5,8	0,00575	-0,000001	-0,0002913	0,0201	4,4035
900	8,5	0,0085	-0,000006	-0,0025073	0,0173	3,8004
1200	11,3	0,0113	-0,000011	-0,0047007	0,0145	3,1864
1500	13,6	0,01355	-0,000016	-0,0068713	0,0123	2,693
1800	14,7	0,01465	-0,000021	-0,0090191	0,0112	2,4518
2100	17	0,017	-0,000026	-0,0111443	0,0088	1,9364
2400	18	0,018	-0,000031	-0,0132467	0,0078	1,7171
2700	19	0,01895	-0,000036	-0,0153264	0,0069	1,5088
3000	19,4	0,0194	-0,000041	-0,0173834	0,0064	1,4101
3300	19,7	0,01965	-0,000046	-0,0194176	0,0062	1,3553
3600	19,7	0,0197	-0,000051	-0,0214291	0,0061	1,3443
3900	20	0,02	-0,000056	-0,0234179	0,0058	1,2785
4200	20	0,02	-0,00006	-0,0253839	0,0058	1,2785
4500	20,3	0,02025	-0,000065	-0,0273272	0,0056	1,2237
4800	20,3	0,02025	-0,000069	-0,0292478	0,0056	1,2237

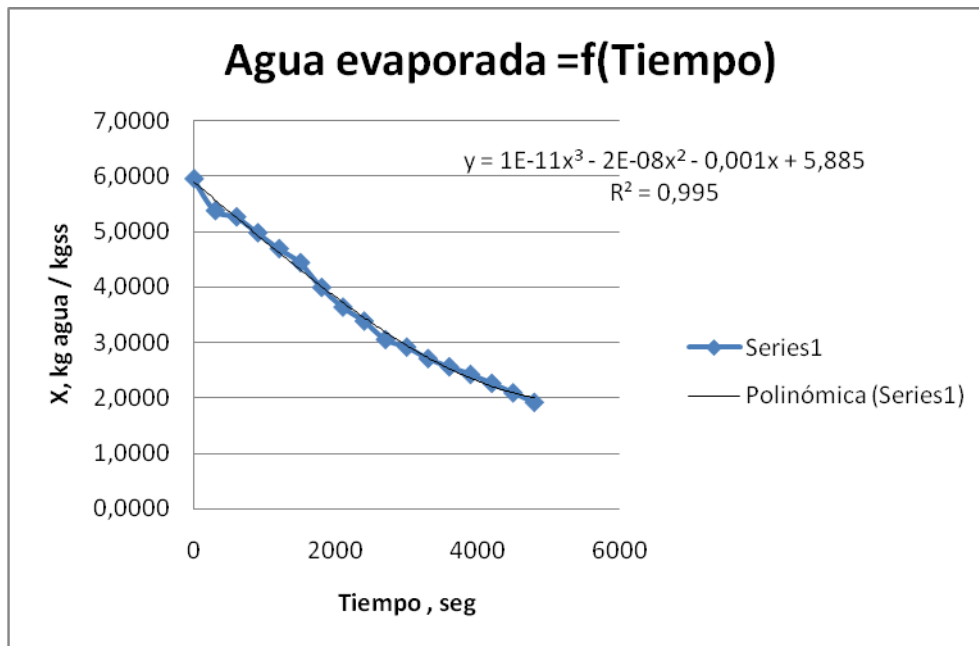


Gráfico 9. Masa de agua evaporada en función del tiempo de la Tabla 34

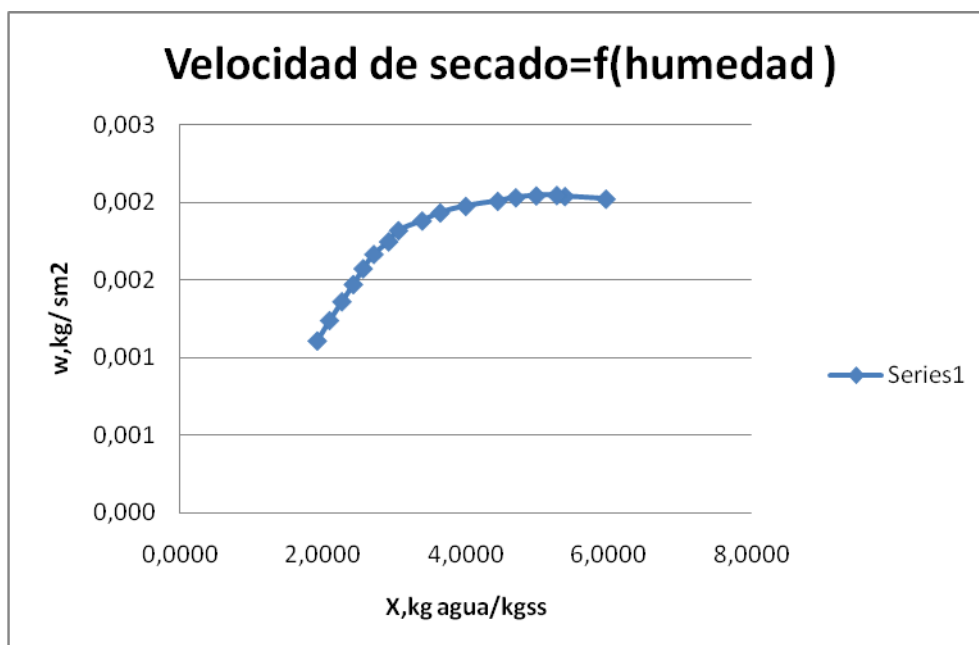


Gráfico 10. Velocidad de secado en función de la humedad de la Tabla 34

Tabla 36. Resultados parciales del secado al vacío a temperatura de 52°C

Tiempo	V1	V2	Vpromedio	M	dX/dt	W	a.l.	X
seg.	ml	ml	ml	kg		kg/sm ²	kg	kg agua/kgss
0	0,0	0,0	0,0	0	-0,002700	0,0051823	0,0258	5,6645
300	3,6	3,2	3,4	0,00340	-0,002705	0,0051920	0,0224	4,9189
600	6,5	5,0	5,8	0,00575	-0,002726	0,0052329	0,0201	4,4035
900	9,8	7,2	8,5	0,00850	-0,002764	0,0053049	0,0173	3,8004
1200	13,2	9,4	11,3	0,01130	-0,002818	0,0054080	0,0145	3,1864
1500	15,6	11,5	13,6	0,01355	-0,002888	0,0055421	0,0123	2,6930
1800	16,8	12,5	14,7	0,01465	-0,002974	0,0057074	0,0112	2,4518
2100	19,0	15,0	17,0	0,01700	-0,003076	0,0059037	0,0088	1,9364
2400	20,0	16,0	18,0	0,01800	-0,003194	0,0061312	0,0078	1,7171
2700	20,4	17,5	19,0	0,01895	-0,003329	0,0063897	0,0069	1,5088
3000	20,6	18,2	19,4	0,01940	-0,003480	0,0066794	0,0064	1,4101
3300	20,8	18,5	19,7	0,01965	-0,003647	0,0070001	0,0062	1,3553
3600	20,8	18,6	19,7	0,01970	-0,003830	0,0073519	0,0061	1,3443
3900	21,0	19,0	20,0	0,02000	-0,004030	-0,0077348	0,0058	1,2785
4200	21,0	19,0	20,0	0,02000	-0,004246	-0,0081488	0,0058	1,2785
4500	21,0	19,5	20,3	0,02025	-0,004478	-0,0085939	0,0056	1,2237
4800	21,0	19,5	20,3	0,02025	-0,004726	-0,0090701	0,0056	1,2237

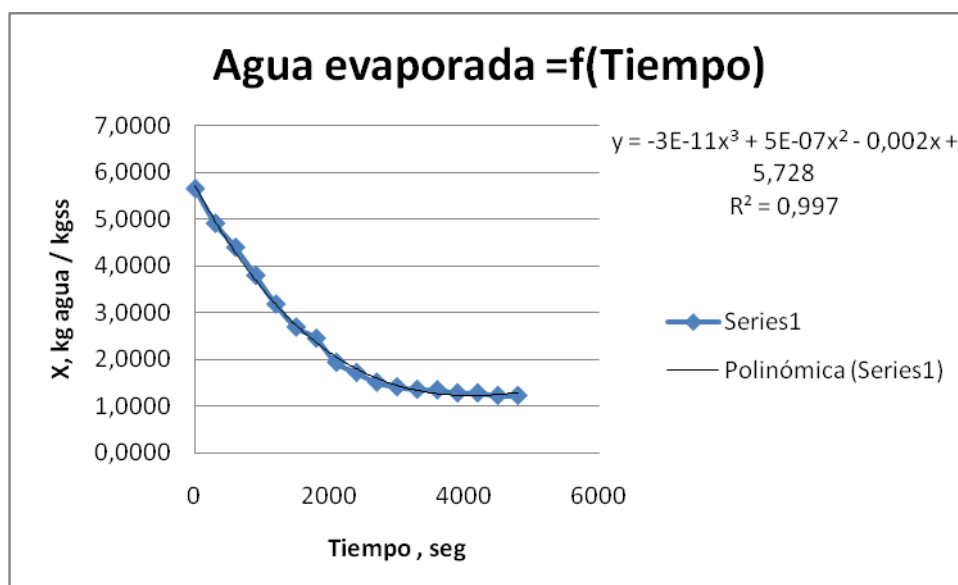


Gráfico 11. Masa de agua evaporada en función del tiempo de la Tabla 35

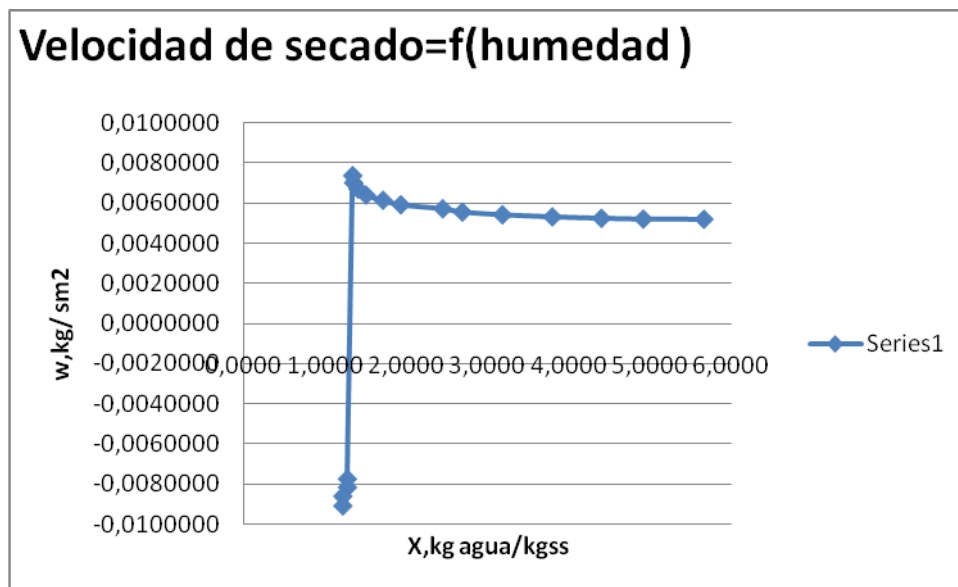


Gráfico 12. Velocidad de secado en función de la Humedad, tiempo de la Tabla 35

5.1.3. Resultados parciales del secado al vacío a $P = 160 \text{ mm Hg}$

Tabla 37. Resultados parciales del secado al vacío a temperatura de 58°C

Tiempo	V1	V2	V, promedio	M	dX/dt	W	a.l.	X
seg	ml	ml	ml	kg		kg/sm ²	kg	kg agua/kgss
0	0	0	0	0	-0,001400	0,0020625	0,0281	8,0171
300	1,5	0,7	1,1	0,00110	-0,001341	0,0019749	0,0270	7,7029
600	3,5	2,5	3	0,00300	-0,001282	0,0018889	0,0251	7,1600
900	4,6	2,8	3,7	0,00370	-0,001225	0,0018044	0,0244	6,9600
1200	6	4	5	0,00500	-0,001169	0,0017216	0,0231	6,5886
1500	7,5	5	6,25	0,00625	-0,001114	0,0016404	0,0218	6,2314
1800	8,5	6,2	7,35	0,00735	-0,001059	0,0015608	0,0207	5,9171
2100	9,8	7	8,4	0,00840	-0,001006	0,0014827	0,0197	5,6171
2400	10,5	8,5	9,5	0,00950	-0,000955	0,0014062	0,0186	5,3029
2700	11,8	9,2	10,5	0,01050	-0,000904	0,0013314	0,0176	5,0171
3000	12,2	10	11,1	0,01110	-0,000854	0,0012581	0,0170	4,8457
3300	13,2	11,6	12,4	0,01240	-0,000805	0,0011864	0,0157	4,4743
3600	13,5	12	12,75	0,01275	-0,000758	0,0011163	0,0153	4,3743
3900	13,8	13	13,4	0,01340	-0,000711	0,0010478	0,0147	4,1886
4200	14	15	14,5	0,01450	-0,000666	0,0009809	0,0136	3,8743
4500	14,5	15,2	14,85	0,01485	-0,000622	0,0009156	0,0132	3,7743
4800	15,5	15,2	15,35	0,01535	-0,000578	0,0008519	0,0127	3,6314

Continuación tabla 36

5100	15,8	15,5	15,65	0,01565	-0,000536	0,0007897	0,0124	3,5457
5400	16	16,5	16,25	0,01625	-0,000495	0,0007292	0,0118	3,3743
5700	17	18	17,25	0,01725	-0,000455	0,0006702	0,0108	3,0886
6000	17	18	17,25	0,01725	-0,000416	0,0006128	0,0108	3,0886

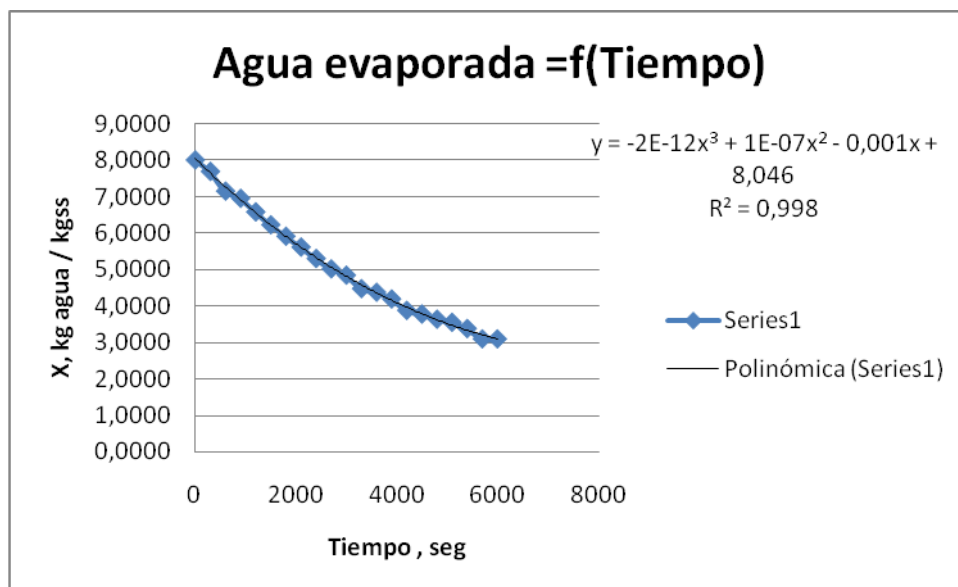


Gráfico 13. Masa de agua evaporada en función del tiempo de la Tabla 36

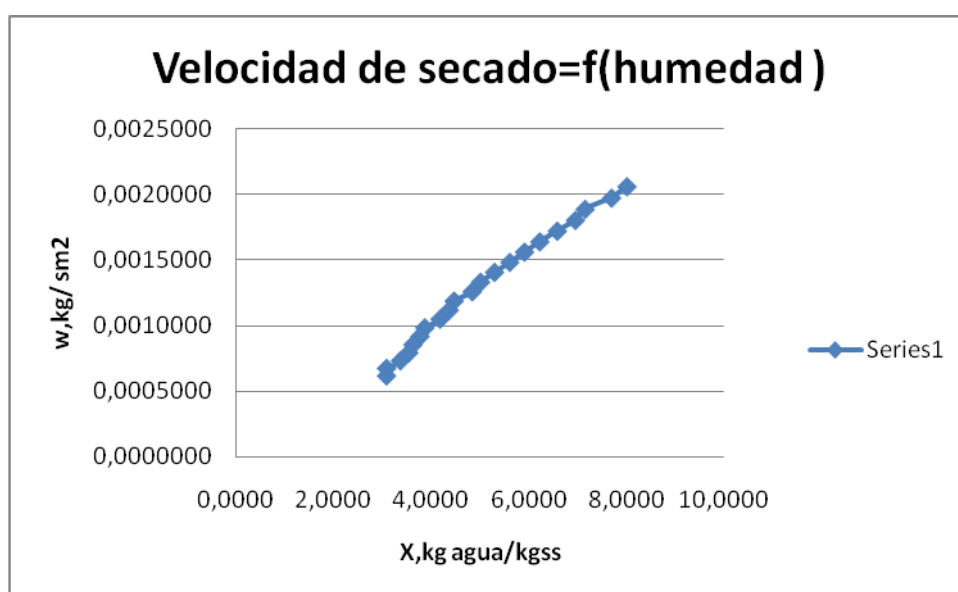


Gráfico 14. Velocidad de secado en función de la Humedad libre, tiempo de la Tabla 36

Tabla 38. Resultados parciales del secado al vacío a temperatura de 56°C

Tiempo	V1	V2	V, promedio	M	dX/dt	W	a.l.	X
seg	ml	ml	ml	kg		kg/sm ²	kg	kg agua/kgss
0	0	0	0	0	-0,002900	0,0054196	0,0266	6,0455
300	3,8	3,2	3,5	0,00350	-0,002605	0,0048691	0,0231	5,2500
600	5	4	4,5	0,00450	-0,002322	0,0043387	0,0221	5,0227
900	9	8	8,5	0,00850	-0,002049	0,0038285	0,0181	4,1136
1200	12,5	11,5	12	0,01200	-0,001786	0,0033385	0,0146	3,3182
1500	15	14	14,5	0,01450	-0,001535	0,0028687	0,0121	2,7500
1800	16	15	15,5	0,01550	-0,001294	0,0024190	0,0111	2,5227
2100	18	17,5	17,75	0,01775	-0,001065	0,0019896	0,0089	2,0114
2400	18	18	18	0,01800	-0,000846	0,0015803	0,0086	1,9545
2700	20	18,5	19,25	0,01925	-0,000637	0,0011912	0,0074	1,6705
3000	20,5	19	19,75	0,01975	-0,000440	0,0008223	0,0069	1,5568
3300	21	19,5	20,25	0,02025	-0,000253	0,0004736	0,0064	1,4432
3600	21,5	20	20,75	0,02075	-0,000078	0,0001450	0,0059	1,3295
3900	21,5	20	20,75	0,02075	0,000087	-0,0001633	0,0059	1,3295
4200	21,5	20	20,75	0,02075	0,000242	-0,0004515	0,0059	1,3295
4500	21,5	20	20,75	0,02075	0,000385	-0,0007195	0,0059	1,3295

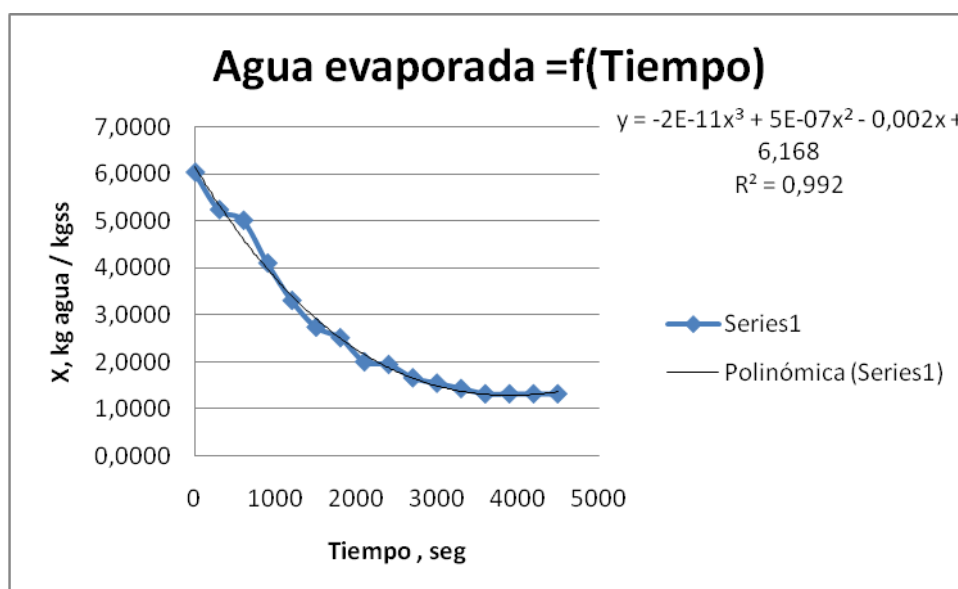


Gráfico 15. Masa de agua evaporada en función del tiempo de la Tabla 37

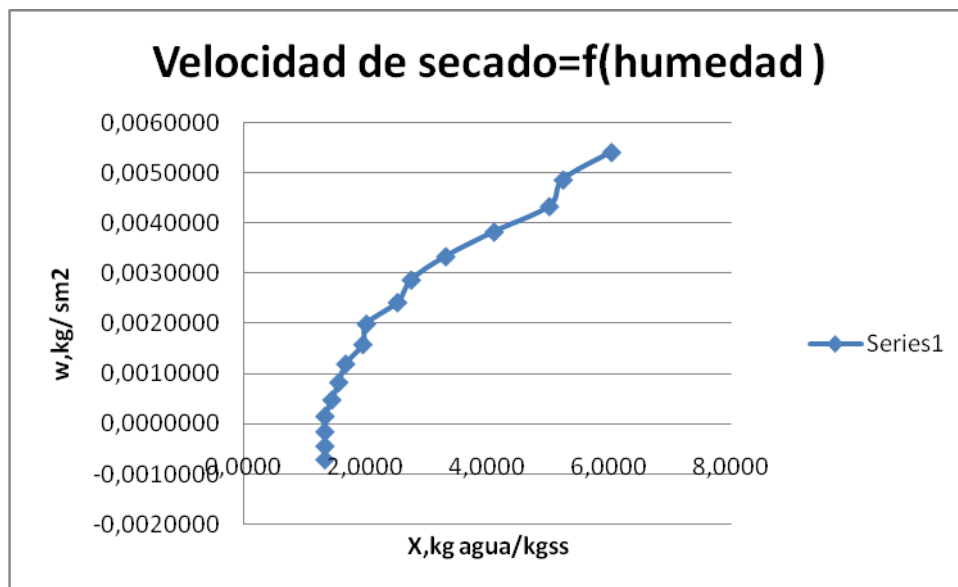


Gráfico 16. Velocidad de secado en función de la Humedad, tiempo de la Tabla 37

Tabla 309. Resultados parciales del secado al vacío a temperatura de 52°C

Tiempo	V1	V2	V, promedio	M	dX/dt	W	a.l.	X
seg		ml	ml	kg		kg/sm ²	kg	kg agua/kgss
0	0	0	0	0	-0,003500	0,0062758	0,0269	6,3052
300	4,5	6	5,25	0,00525	-0,003039	0,0054490	0,0216	5,0728
600	6,2	10	8,1	0,00810	-0,002616	0,0046900	0,0188	4,4038
900	9	13,5	11,25	0,01125	-0,002230	0,0039987	0,0156	3,6643
1200	11,2	16	13,6	0,01360	-0,001882	0,0033753	0,0133	3,1127
1500	13,5	17,5	15,5	0,01550	-0,001573	0,0028196	0,0114	2,6667
1800	15	18,5	16,75	0,01675	-0,001300	0,0023317	0,0101	2,3732
2100	16,5	19,5	18	0,01800	-0,001066	0,0019116	0,0089	2,0798
2400	18	20	19	0,01900	-0,000870	0,0015593	0,0079	1,8451
2700	19	21	20	0,02000	-0,000711	0,0012747	0,0069	1,6103
3000	19,2	21,5	20,35	0,02035	-0,000590	0,0010579	0,0065	1,5282
3300	19,4	22	20,7	0,02070	-0,000507	0,0009089	0,0062	1,4460
3600	19,5	22	20,75	0,02075	-0,000462	0,0008277	0,0061	1,4343
3900	19,5	22,1	20,8	0,02080	-0,000454	0,0008142	0,0061	1,4225
4200	19,5	22,2	20,85	0,02085	-0,000484	0,0008686	0,0060	1,4108
4500	19,6	22,4	21	0,02100	-0,000553	0,0009907	0,0059	1,3756
4800	19,6	22,4	21	0,02100	-0,000658	0,0011806	0,0059	1,3756

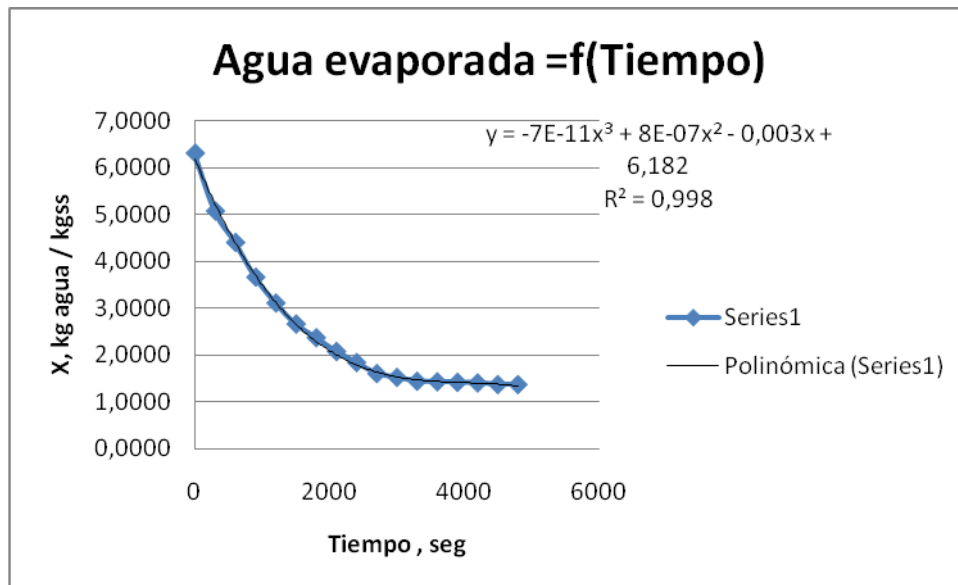


Gráfico 17. Masa de agua evaporada en función del tiempo de la Tabla 38

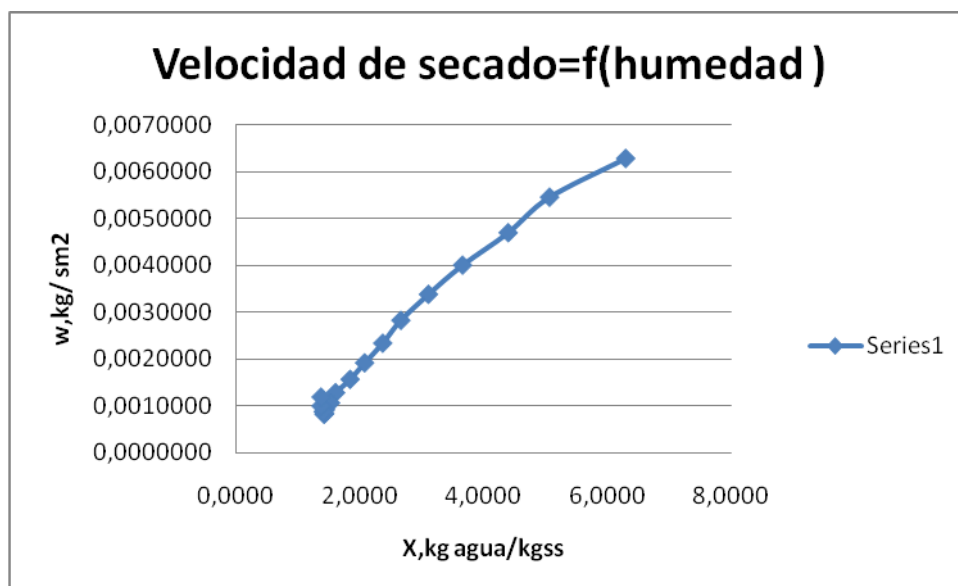


Gráfico 18. Velocidad de secado en función de la Humedad, tiempo de la Tabla 38

5.1.4. Resultados generales del secado al vacío de la espirulina.

Tabla 40. Resultados generales del secado al vacío de la espirulina

T	P	%H	Xc	Wc	Tiempo Total	
°C	mm Hg		kgH ₂ O/kgss	kgH ₂ O/s m ²	seg.	Θ_c, tiempo
58	110	86,48	6,379	0,0066	4800	4,175
	136	85,63	5,954	0,002	5400	2,319
	160	86,14	6,046	0,00542	4500	58,867
56	110	84,89	5,596	0,00479	5400	8,984
	136	85,04	5,665	0,00518	4800	8,116
	160	86,35	6,305	0,00627	4800	5,36
52	110	87,6	6,82	0,00614	4800	69,778
	136	89,02	8,017	0,00206	6000	65,553
	160	86,47	6,369	0,00179	5400	23,539

5.2. Resultados de los Análisis Bromatológicos y Microbiológicos

5.2.1. Análisis bromatológico de muestras iniciales antes del secado

Tabla 311. Resultados parciales del análisis bromatológico de la muestra inicial antes del secado (ver anexo B)

Muestra	% Proteína bs
M	64,88%

5.2.2. Análisis microbiológico de muestras iniciales antes del secado vacío

Tabla 32. Resultados parciales del análisis microbiológico de la muestra inicial antes del secado (ver anexo J)

Determinación	M1	M2
Mesofilos totales	1000UFC/g	0
Coliformes	0	0
Estafilococos	0	0
Mohos y levaduras(37°C)	0	0
Mohos y levaduras (M.Ambiente)	0	0

M1=muestra manipulada.

5.2.3. Análisis microbiológico de muestras iniciales después del secado al vacío

Tabla 333. Resultados parciales del análisis microbiológico de la muestra inicial después del secado (ver anexo K)

Determinación	M
Mesofilos totales	0
Coliformes	0
Estafilococos	0
Mohos y levaduras(37°C)	0
Mohos y levaduras (M.Ambiente)	0

5.2.4. Resultados de análisis bromatológico en base húmeda

Para el análisis bromatológico se codifica las muestras con letras mayúsculas (A, B, C,...), de acuerdo a las condiciones establecidas en el diseño experimental.

Tabla 344. Resultados parciales del análisis bromatológico en base húmeda (Ver Anexo C, D, E, F, G Y H)

Muestra	%Proteína b.h	Condiciones P,T
A	0.75	110/58
B	1.06	110/56
C	1.25	110/52
D	0.93	136/58
D1	1.31	136/56
D2	1.25	136/52
E	0.93	160/58
F	1	160/56
G	0.56	160/52

5.2.5. Resultados de análisis bromatológico en base seca.

Tabla 355. Resultados parciales del análisis bromatológico en base seca

MUESTRA	%PROTEÍNA b.s	CONDICIONES P,T
A	53,19	110/58
B	56,70	110/56
C	63,86	110/52
D	57,06	136/58
D1	60,93	136/56
D2	63,13	136/52
E	54,82	160/58
F	51,55	160/56
G	47,86	160/52

5.3. Pruebas de degustación

Se realizan mezclas de polvo de espirulina con leche, jugo de tomate y harina de maíz.

Las pruebas de degustación se realizaron a 10 personas (5 mujeres y 5 hombres)

Obteniendo mayor acogida las combinaciones con leche-espirulina y con jugo-espirulina.

El rango de calificación fue de 1 a 3.

Tabla 366. Relación de mezcla recomendada de leche, jugo y pan de maíz con espirulina en polvo

NOMBRE MUESTRA	RELACION DE ESPIRULINA Y ALIMENTO	
M1	mezcla de leche con espirulina	200 ml / 3 g
M2	mezcla de jugo de tomate con espirulina	200 ml / 3 g
M3	pan de maíz con espirulina	10ml / 1 g

5.3.1. Encuesta para la aceptabilidad del polvo de espirulina.

Encuesta para la caracterización sensorial de espirulina (sabor, aroma, color).

Tabla 377. Datos obtenidos de la degustación del sabor de la espirulina en combinación

GENERO	JUECES	MUESTRAS		
		M1	M2	M3
Femenino	1	3	2	3
	2	3	3	2
	3	3	2	2
	4	2	3	3
	5	2	2	3
Masculino	6	3	3	1
	7	3	3	2
	8	2	3	3
	9	3	2	2
	10	3	3	3
Valor medio		2,70	2.60	2,40

Tabla 388. Datos obtenidos de la degustación del aroma de la espirulina en combinación

GENERO	JUECES	MUESTRAS		
		M1	M2	M3
Femenino	1	3	3	3
	2	2	3	3
	3	2	3	2
	4	3	3	2
	5	3	3	2
Masculino	6	2	2	2
	7	3	2	3
	8	2	3	2
	9	3	2	3
	10	3	3	1
Valor medio		2,60	2,70	2,30

Tabla 399. Datos obtenidos de la degustación del color de la espirulina en combinación

GENERO	JUECES	MUESTRAS		
		M1	M2	M3
Femenino	1	3	3	2
	2	3	3	3
	3	2	2	3
	4	3	3	3
	5	3	3	3
Masculino	6	3	3	2
	7	3	3	3
	8	2	3	3
	9	3	3	2
	10	3	2	3
Valor medio		2,80	2,80	2,70

5.4. Análisis de varianza (ANOVA) para determinar la aceptabilidad y evaluación de las características sensoriales en la diferente combinación de la espirulina.

Para determinar cuáles son las mezclas de la espirulina que tenga mejor preferencia se sometieron a las encuestas de aceptabilidad y características sensoriales a un análisis estadístico ANOVA

Para un nivel de satisfacción de $\alpha=0.05$ este análisis permite distinguir variables independientes significativas en el estudio y establecer cómo interactúan y afectan la respuesta.

Donde se considera lo siguiente:

5.4.1. Variables independientes

- Genero
- Muestra

5.4.2. Variables dependientes

- Grado de aceptabilidad
- Sabor
- Aroma
- Olor

5.4.3. Términos estadísticos

J: niveles de factor A (Genero)

K: nivel de factor B (muestra)

n : n° de observaciones en cada casilla

N: n° total de observaciones

T: total de cada muestra

5.4.4. Cálculo modelo para el grado de aceptabilidad

Hipótesis nula 1, $H_{o(G)}$: Las medias poblacionales correspondientes al género masculino y femenino son iguales.

$$\begin{aligned}H_{o(G)} : \mu_{1+} &= \mu_{2+} (\text{Genero}) \\H_{o(G)} : \mu_{1+} &\neq \mu_{2+}\end{aligned}\tag{34}$$

Hipótesis nula 2, $H_{o(M)}$: Las medidas poblacionales correspondiente a las muestras son iguales.

$$\begin{aligned}H_{o(M)} : \mu_{1+} &= \mu_{2+} = \mu_{3+} (\text{Muestras}) \\H_{o(M)} : \mu_{1+} &\neq \mu_{2+} \neq \mu_{3+}\end{aligned}\tag{35}$$

Hipótesis nula 3, $H_{o(GM)}$: No hay interacción entre géneros y muestras.

$$\begin{aligned}H_{o(GM)} : \mu_{jk} - \mu_{j^*k} &= \mu_{j+} - \mu_{j^*+} (\text{Interacción}) \\H_{o(GM)} : \mu_{jk} - \mu_{j^*k} &\neq \mu_{j+} - \mu_{j^*+}\end{aligned}\tag{36}$$

Dónde:

$$J=2 \quad K=3 \quad n=5 \quad N=30 \quad T=27$$

a) Cálculo del total de los Y_{ijK}

$$\Sigma Y_{ijk} = 200$$

b) Cálculo del gran total de las filas, Σ_{ji}

$$\Sigma_{ji} = 27+26+24= 77$$

c) Cálculo del gran total de las columnas, \sum_{ki}

$$\sum_{j1} = 38 + 39 = 77$$

Tabla 50. Totales del grado de aceptabilidad para cada género

GENERO	MUESTRAS			TOTAL
	M1	M2	M3	
FEMENINO	13	12	13	38
MASCULINO	14	14	11	39
TOTAL	27	26	24	77

d) Calculo de suma de cuadrados, SC

$$\sum_i \sum_j \sum_k Y_{ijk}^2 = SC = 207$$

e) Cálculo de la suma de cuadrados totales, SCT

$$SCT = \sum_i \sum_j \sum_k Y_{ijk}^2 - \frac{T^2}{N} \quad (37)$$

$$SCT = 9,37$$

f) Cálculo de la suma de cuadrados del factor A (Género)

$$SCG = \frac{\sum_j T^2_{j+}}{nK} - \frac{T^2}{N} \quad (38)$$

$$SCG = 0,03$$

g) Calculo de la suma de cuadrados del factor B (Muestra)

$$SCM = \frac{\sum_j T^2_{j+}}{nJ} - \frac{T^2}{N} \quad (39)$$

$$SCM = 0,47$$

h) Cálculo de la suma de cuadrados del error experimental

$$SCE = \sum_i \sum_j \sum_k Y^2_{ijk} - \frac{\sum_j \sum_k T^2_{jk}}{n} \quad (40)$$

$$SCE = 8$$

i) Cálculo de la suma de cuadrados de la interacción género- muestra.

$$SCGM = SCT - SCG - SCM - SCE \quad (41)$$

$$SCGM = 9,37 - 0,03 - 0,47 - 8,0$$

$$SCGM = 0,87$$

j) Grados de libertad del factor A (Género)

$$j-1 = 2-1 = 1$$

k) Grados de libertad del factor B (Muestra)

$$K-1 = 10-1 = 9$$

l) Grados de libertad de la interacción

$$(j-1)(k-1) = (1)(9) = 9$$

m) Grados de libertad del error

$$N - JK = 30 - (2 * 10) = 10$$

n) Cálculo del cuadrado medio del factor A (Género)

$$MCG = \frac{SCG}{j-1} \quad (42)$$

$$MCG = \frac{0,03}{2} = 0,0167$$

o) Cálculo del cuadrado medio del factor B (Muestras)

$$MCM = \frac{SCM}{k-1} \quad (43)$$

$$MCM = \frac{0,47}{9} = 0,052$$

p) Cálculo del cuadrado medio de la Interacción (Género-Muestras)

$$MCGM = \frac{SCGM}{(J-1)(k-1)} \quad (44)$$

$$MCGM = \frac{0,87}{1*9} = 0,097$$

q) Cálculo del cuadrado del error experimental

$$MCE = \frac{SCE}{N - JK} \quad (45)$$

$$MCE = \frac{8}{30 - 2*3} = 0,333$$

r) Cálculo de la razón F para el factor A (Muestra), $F_{\text{exp,G}}$

$$F_{\text{exp,G}} = \frac{MCG}{MCE} \quad (46)$$

$$F_{\text{exp,G}} = \frac{0,0167}{0,333} = 0.05$$

s) Cálculo de la razón F para el factor B (Muestra), $F_{\text{exp,M}}$

$$F_{\text{exp,M}} = \frac{MCM}{MCE} \quad (47)$$

$$F_{\text{exp,M}} = \frac{0,52}{0,333} = 0.156$$

t) **Calculo de la razón F para la interacción Género – Muestra, $F_{\text{exp,G-M}}$**

$$F_{\text{exp,G-M}} = \frac{MCGM}{MCE} \quad (48)$$

$$F_{\text{exp,G-M}} = \frac{0,0967}{0,333} = 0,29$$

Para el factor Género con grados de libertad (1;) $F_{\text{teo}=0.06}$

Para el factor Muestra con grados de libertad (9;) $F_{\text{teo}=0.0158}$

Para la interacción Género – Muestra con grados de libertad (9;) $F_{\text{teo}=0.32}$

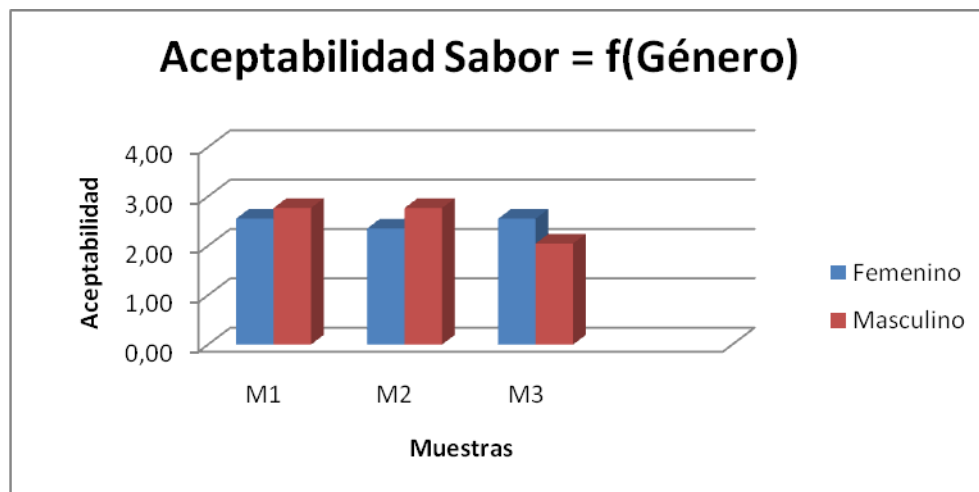


Gráfico 19. Cuadro de aceptabilidad del sabor en relación al género

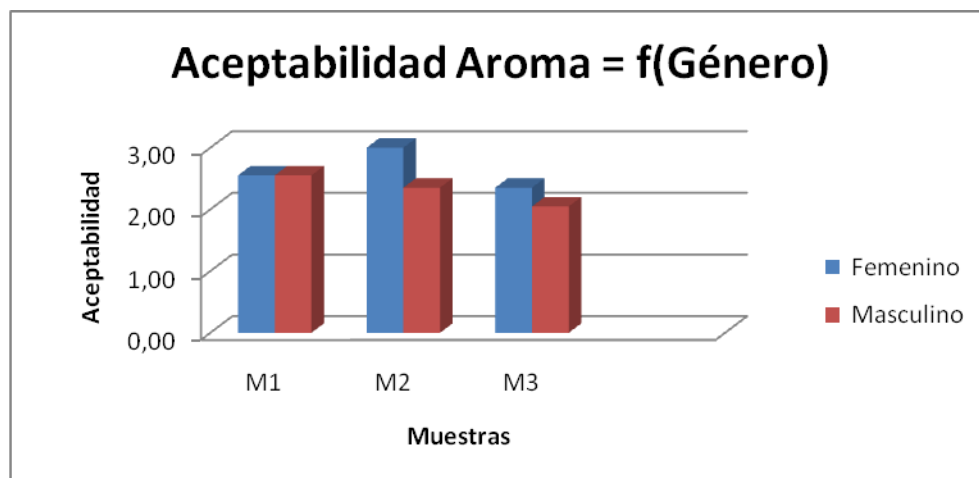


Gráfico 20. Cuadro de aceptabilidad de aroma en relación al género

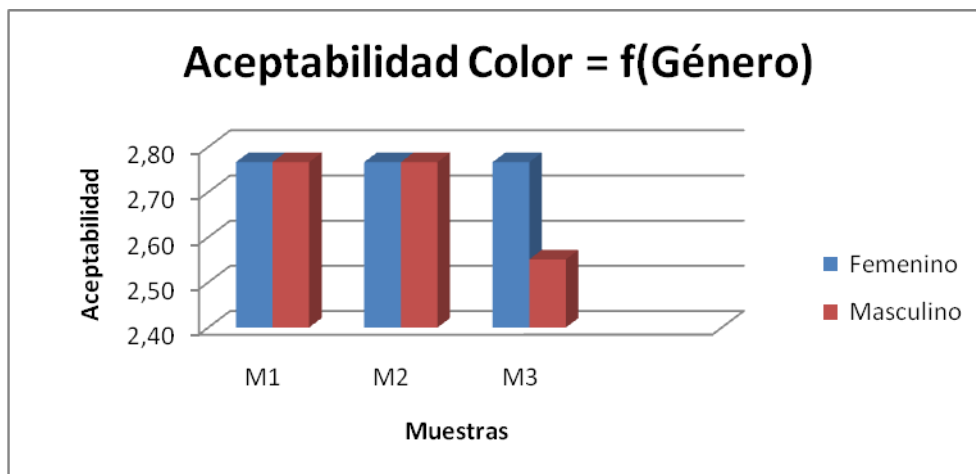


Gráfico 21. Cuadro de aceptabilidad de color en relación al género

6. DISCUSIÓN

- La temperatura de experimentación se fijó en 58°C debido a que se realizaron varias pruebas modificando la temperatura de la cámara desde los 50°C hasta los 70 °C estableciendo que la temperatura a la que se descompone la espirulina es 65°C y debido a que los medios de calefacción con los que se contó para el presente trabajo no tienen un control automático de esta variable se pensó que la temperatura de 60°C sería susceptible de controlar manualmente y podría llegar rápidamente a la temperatura máxima.
- En caso de la presión absoluta se tomó en consideración la máxima presión que se obtuvo inicialmente con la bomba de vacío del Laboratorio de Química Orgánica que fue de 160mmHg, luego de un ajuste de la bomba la presión absoluta baja fue de 110mmHg y finalmente la tercera presión de experimentación se consideró en un punto medio y que fue 136mmHg.
- Durante las primeras experimentaciones se realizó el secado de la espirulina sin homogenizarla con lo cual se observó que el secado se demora más tiempo evitándola difusión del líquido a la superficie.
- Las muestras de biomasa al estar expuestas a congelación para evitar la descomposición en el proceso requieren mayor tiempo para el secado, para lo cual se descongelan evitando la desnaturalización de los nutrientes porque es un alimento termolábil, es decir sensible a la temperatura.
- Analizando los datos experimentales se puede apreciar que el volumen de agua recogido = $f(\text{tiempo})$ y el volumen de agua final del proceso no tiene el mismo valor en las dos repeticiones, esto se debe a que los pesos de la biomasa no son iguales por tanto a medida que esta se va secando, se incrementa la difusión del líquido de la superficie.
- Para la determinación de la velocidad de secado, W , se debió descomponer la curva $X=f(t)$ en sus periodos ya que una regresión matemática que incluya todos los datos distorsiona los resultados de la curva $W=f(X)$ evitando la identificación de las variables X_c y W_c .

- Considerando los resultados obtenidos para el porcentaje de la humedad en la tabla 44, cabe señalar que para todos los casos tienen un valor similar en las tres condiciones de secado al vacío de la biomasa.
- Considerando los resultados obtenidos para el agua evaporada y capacidad de succión máxima de la bomba de vacío para cada condición de secado de la biomasa. En la tabla 29, cabe advertir que la capacidad máxima de succión es mayor para todas las condiciones, es el correspondiente a 110mmHg y 52°C.
- Buscando la imparcialidad de los Análisis Microbiológicos y Bromatológicos; fueron realizados por los Laboratorios de Bacteriología de la Facultad de Medicina Veterinaria (Ver Anexo I y J) y Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (Agrocalidad) (anexo B a H) respectivamente, obteniéndose en la muestra inicial presencia de mesofilos totales en 1000UFC/g, después del respectivo secado al vacío en las diferentes condiciones se eliminó la presencia de este microorganismo.
- Además se puede observar en el anexo B que el producto obtenido tiene un alto contenido de nutrientes, principalmente en proteínas, de 1.25%, en base húmeda y transformando a base seca se obtiene 63.86% valor que supera a otros productos de la línea alimenticia.

7. CONCLUSIONES

- Haciendo una comparación del contenido proteico de diferentes alimentos, la espirulina, en polvo contiene el 65% de proteínas y las mejores fuentes de proteínas vegetales no llegan a más de la mitad de la misma, siendo esta alga el alimento de mayor contenido proteico y por tanto un **complemento nutricional ideal, que se lo puede emplear en la elaboración de galletas, jugos y sopas, etc.**
- De acuerdo con los análisis microbiológicos del producto al final del secado se obtiene ausencia de microorganismos, por lo cual se concluye que el proceso evita el crecimiento de estos.
- La mejor temperatura para el secado al vacío de la biomasa es de 52°C y la observación de los análisis bromatológicos permiten concluir que al ser un producto termolábil a partir de los 60°C empiezan a descomponerse.
- La mejor condición de presión absoluta para el secado al vacío de la biomasa es de 110 mm Hg; siendo la mejor en conservar el contenido proteico de la espirulina de acuerdo a los análisis realizados de las diferentes muestras de espirulina secado a diferentes condiciones.
- De lo analizado anteriormente se establece que las mejores condiciones para el secado al vacío de la espirulina Son: Temperatura: 52°C y Presión absoluta: 110mm Hg, en esta condición obteniendo: humedad critica (X_c)=6,82 kg H₂O /kgss, velocidad critica(W_c)= 0.00614 kg H₂O /sm² y Tiempo critico (Θ_c) =69,77. dando como resultado un producto con alto valor nutritivo rico en vitaminas, minerales, ácidos grasos, proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, y una amplia gama de fotoquímicos, libre de proliferación de bacterias es decir la espirulina es un alimento apto para combatir la desnutrición a nivel mundial.
- Las combinaciones realizadas para la prueba de degustación según el análisis microbiológico y bromatológico del producto a diferentes condiciones de secado se obtienen un producto adecuado para el consumo en combinaciones con diferentes productos alimenticios.

- Según la degustación del producto de mayor contenido de proteína, en combinación con jugo, leche y pan de maíz, realizada a 10 personas de los cuales 5 son mujeres y 5 son hombres, se ha obtenido que mayor aceptación en olor y sabor se tiene en las mezclas de jugo y leche (Ver tabla 46)
- El secado al vacío es un secado indirecto, en el que el producto se seca por transferencia de calor por conducción, esta transferencia se efectúa a través de una superficie conductora que separa la corriente del proceso del medio calefactor, es decir, el secado se realiza entre el material mojado y una superficie sin la presencia de corrientes de aire caliente, permitiendo obtener un producto que no estimula la proliferación de microorganismos, conserva la mayoría de sus propiedades, es muy homogéneo en propiedades y apariencia.
- El secado al vacío de la espirulina se realiza en diferentes condiciones de temperatura no mayor a 60 °C. dentro de la cámara del secador y una presión absoluta, condiciones limitadas para evitar que las proteínas se desnaturalicen y que los nutrientes se pierdan por efectos de la temperatura debido a que la espirulina es un elemento termolábil.

5. RECOMENDACIONES

- La espirulina fresca (la biomasa prensada), tanto desde el punto de vista organoléptico como por su valor nutritivo superior a otros elementos puede conservarse dos días en el refrigerador a 7°C o diez días a 1°C. Además se congela fácilmente.
- Es importante el secado al vacío ya que es el único modo de que el producto conserve todas sus propiedades para su comercialización hasta cinco años.
- La espirulina en forma de polvo, es importante emplear en comidas y bebidas por sus propiedades nutricionales siendo un alimento poderoso con un enorme potencial como fuente completa de alimentación o medicina.
- Se recomienda realizar el secado al vacío de la espirulina para evitar la mínima pérdida del contenido nutricional, logrando así un producto alimenticio valioso que tiene gran cantidad de nutrientes necesarios para el ser humano.
- Debido al alto contenido de humedad que contiene la espirulina, se recomienda previo al secado, realizar una filtración para eliminar la gran cantidad de agua para reducir el tiempo de secado y mejorar el rendimiento de obtención del polvo de espirulina.
- Otra opción para la conservación del polvo de espirulina sería el procedimiento de liofilización.
- Según el Grupo Temático Mundial sobre la Nutrición en su Guía de Gestión que es un Organismo de Naciones Unidas, la Ingesta Diaria Recomendada de Espirulina, en las mezclas es una cuchara de (3g) de polvo para aprovechar todos los nutrientes presentes.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **FIGUERUELO, J.E., DAVILA, M.** *Química física de medio ambiente*. 2001. Ed. Reverte S.A. 1 Ed. Puebla. México. pp. 4-10. [En línea]. [Fecha de consulta: el 2 de abril del 2012 a las 08:10]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Spirulina%C3%ADfico>.
- [2] **TOMASELLI, L., PALANDRI, M., TREDICI, M.** *On the correct use of Spirulina spp.* Ann. Rev. Microbiol. fourthedición. Chile. 1996. p. 321.
- [3] **SPILLER, S., DENBEAUX, G.** *Fine structure of Cyanobacteria, Spirulina platensis and Spirulina subsalsa, as viewed by x – ray microswcope, XM – 1, beamline 6.1.2. Department of biology, Mills College, Okland, U.S.A.* 2001.p. 123.
- [4] **BARROS y BUENROSTRO.** *Algas spirulina sp.* 1999. México. pp. 37-56. [en línea]. [Fecha de consulta: 15 de Mayo de 2013]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/bacteria.Spirulina/sp.%C3%ADfico>.
- [5] **ABBAYES, Berry.** *Reproducción y ciclo de vida de la spirulina*. México. 2003. P 123.
- [6] **BECKER, E.W., VENKATARAMAN, L.V.** *Biotechnology and explotación of algae – the indian Approachh. Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) – Agency for Technical cooperacion (GTZ).* Terceraedición. Colombia. 1982. pp. 31-39.
- [7] **IBID.** [8].p. 41
- [8] **BELAY, A.** *The potential aplication of Spirulina (Arthospira) as a nutritional and therapeutic supplement in health management.* J.Ame.Nutra. Primeraedición. 2002. Colombia. pp. 27-29.
- [9] **IBID.** [8].p. 12, 26, 32
- [12] **TIBONI, O., CIFERRI, O.** *The biochemistry and industrial potential of Spirulina spp.* Ann. Rev. Microbiol. Alemania. Primeraedición. 1985. pp .503 – 526.

- [13] **IBID** (12), pp. 17,18
- [14] **SANCHEZ, 2003/b.** *Spirulina (Arthrospira): An edible microorganism: A review. UniversitasScientiarum.* pp. 11-12. [en línea].[Fecha de consulta: 04 de junio de 2013]. Disponible en: [http://www.Spirulina.Arthrospir/i/. Spirulina/sp.%C3%ico](http://www.Spirulina.Arthrospir/i/.Spirulina/sp.%C3%ico).
- [15]**CHAMORRO, G., SALAZAR. M., ARAUJO. K.G., PEREIRA, C., CEBALLOS, G.** *Actualización en la farmacología de spirulina (arthospira), un alimento no convencional.* ALAN. Quinta edición Colombia. 2002. pp 98-102.
- [16] **CHAMORRO, G., SALAZAR. M., FAVILA. L., BOURGES. H.** *Farmacología y toxicología del agua Spirulinaspp.* Rev. Invest. Clin. 1996. Tercera edición. Colombia.1996. pp. 67-77.
- [17] **ROLDAN, G.** *Fundamentos de limnología tropical.* Ed. universidad de Antioquia. Medellín. Colombia. 1992. pp. 247 – 248, 251 – 266.
- [18] **FOX, RIPLEY D.** *Contribution al’etuded’uneCyanophyce: Spirulina – A.C.M.A., -* París, France. 1966. pp. 231-242.
- [19] **IBED** (18) pp. 12
- [20] **JOURDAN Jean-Paul.** "Le Castanet", F-30140-MIALET, Francia [en línea]. [Fecha de consulta: 10 de Marzo de 2013]. Disponible en: <http://www.spirulinasource.com/microjourdan.html>.
- [21] **SANCHEZ, M. R., 2003/a.** *Producción a escala piloto y composiciónquímica proximal de una cepa californiana de Arthrospiramaxima (spirulinamaxima).* Tesis maestría. Facultad de Ciencias. Pontifica Universidad Javeriana. pp. 23-32. [en línea]. [Fecha de consulta: 25 de junio de 2013]. Disponible en: [http://www.Spirulina.Arthrospir/in/. Spirulina/sp.%C3%ico](http://www.Spirulina.Arthrospir/in/.Spirulina/sp.%C3%ico).
- [22] **IBED** (21), pp .19
- [23] **IBED** (21), pp .20
- [24] **KIM, H. M., LEE, E.H., CHO, H.H., MOON, Y.H.** *Inhibitory effect of mast cell – mediated immediate – type allergic reactions in rats by Spirulina.* BIOCHEM. Colombia. 1998. pp. 55: 1071 – 1076.

- [25] **GEANKOPLIS Christie J.** *Proceso de Transporte y Operaciones Unitarias*, Compañía Editorial Continental S.A, México D.F., 1991, pp. 435
- [26] **ESCOBAR F.** *Necesidades de Vacío [en línea]*. [Fecha de consulta: 15 de Febrero del 2013]. Disponible en:
http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/131/htm/sec_7.htm
- [27] **SORIA N.** *Limitaciones de Vacío [en línea]*. [Fecha de consulta: 15 de Febrero del 2013]. Disponible en: <http://fmcarajo.blogspot.com/2013/04/secado-vacio.html>.
- [28] **VONSHAK y TOMASELI 2000.** *Contribución a l'étuded'uneCyanophycee: Spirulina – A.C.M.A., 1966 - París*, pág. 18 [En línea]. [Fecha de consulta: el 2 de Mayo del 2013 a las 17.00]. Disponible en: <http://www.antena.ch/manual/cultivo.html>.
- [29] **SANCHEZ,P.** *Vitaminas en la Spirulina*. Tesis maestría. Facultad de Ciencias. Pontifica Universidad Javeriana. 2003; Bogotá , p. 27[En línea], [En línea]. [Fecha de consulta: el 12 de Junio del 2013 a las 10h0]. Disponible en: www.ucv.ve/fileadmin/user/upload/08Tema3Taxonomía.pdf
- [30] **IBED** (29), pp .19
- [31] **BELAY, R.** *Thepotentialaplication of Spirulina (Arthospira) as a nutritional and therapeuticsupplement in health management*. 2002; Bogotá, pág. 30[En línea]. [Fecha de consulta: el 12 de Junio del 2013 a las 10h0]. Disponible en: www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/Taxonomía.pdf
- [32] **VONSHAK,P.** *Sociedad Americana de Vacío*. 2003; Nueva York, p. 74 [En línea], Fecha de consulta: el 18 de Junio del 2013 a las 13h0]. Disponible en: www.ucv.ve/h.sociedadamericana devacio.pdf
- [33] **WALTER, J.M.** *Biología molecular y biotecnología*, segunda edición. 1997; Colombia, pág. 94 [En línea], Fecha de consulta: el 20 de Junio del 2013 a las 14h0]. Disponible en: www.ucn.r.biotecnologia .pdf.
- [34] **HENRIKSON. 2009.** *Elaboración propia de datos publicados en IIMSAM de spirulina*; Medellín, pág. 104 [En línea], Fecha de consulta: el 15 de Julio del 2013 a las 8h0]. Disponible en: www.iimsam.org.pdf.

- [35] **HENRIKSON R.** *Spirulina, Súper alimento del futuro, Propiedades químicas de espirulina y fundamentos limnológicos*; Ed. universidad de Antioquia. México 1994. p. 30 [Enlínea]. [Fecha de consulta: el 12 de Junio del 2013 a las 10h0]. Disponible en: <http://www.antena.ch/manual/cultivo.html>

6. BIBLIOGRAFÍA

CHAMORRO, G., SALAZAR. M., FAVILA. L., BOURGES. H. 1996. Farmacología y toxicología del agua Spirulina spp. Rev. Invest. Clin.

FAO (2006): Textos Fundamentales de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Vol.1 [en línea]. [Fecha de consulta: 25 de Febrero del 2013]. Disponible en: <http://xarxaespirulina.wordpress.com>).

HENRIKSON Robert (2009): Earth Food Spiruline: How this remarkable blue-green algae can transform your health and our planet. Ronore Enterprises, Inc., Hawaii. (Ver: www.spirulina-source.com)

KIM, H. M., LEE, E.H., CHO, H.H., MOON, Y.H. 1998. Inhibitory effect of mast cell – mediated immediate – type allergic reactions in rats by Spirulina. BIOCHEM. Pharmacol.

Mc CABE, Warre – SMITH, Juliem “Operaciones Unitarias en la Ingeniería Química” Editorial Mc Graw Hill, 6ta Edición 2001

MITCHELL, G.V., GRUNDEL, E., JENKINS, M., BLAKELY, S.R. 1990. “Effects of graded dietary levels of Spirulina maxima on vitamins A and E in male rats”. J. Nutr. Oct; 120(10).

PAREDES, M.C., TORRES, P.B., RIVAS, S., ZAMORA, J., MASCHER, D., JUAREZ, M.A. 1998. Effects of dietary Spirulina maxima on vasomotor of aorta rings from rats fed a fructose – rich diet. Nutr. Res. 18. 1769 – 1782.

QURESHI, M.A., KIDD, M.T., ALI, R.A. 1995. Spirulina platensis extract enhances chicken macrophage functions after in vitro exposure. J.

ROMAY, C., LEDON, N., GONZALES R. 1998. Further studies on anti – inflammatory activity of phycocyanin in some animal models of inflammation. Inflamm.

SANCHEZ, 2003/A. Producción a escala piloto y composición química proximal de una cepa californiana de *Arthrospira máxima* (*spirulina máxima*). Tesis maestría. Facultad de Ciencias. Pontifica Universidad Javeriana. Disponible en:
www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/.../08_Tema_3_Taxonomía.pdf

TIBONI, O., CIFERRI, O. 1985. The biochemistry and industrial potential of *Spirulina* spp. *Ann. Rev. Microbiol.*

VONSHAK Y TOMASELLI, 1984. Cifuentes-Lemus et al., 2005. Laboratory techniques for the cultivation of microalgae. In: Richmond, A., Ed. *Handbook of microalgal mass culture*. CRC Press, Inc.

WHITTON, B. 1992. Diversity, ecology and taxonomy of the cyanobacteria. In: Mann N, Carr N, Eds. *Photosy. Proka*. Plenum Press.

GEANKOPLIS CHRISTIE J., *Proceso de Transporte y Operaciones Unitarias*, Compañía Editorial Continental S.A, México D.F., 1991.

ANEXOS

ANEXO A. ENCUESTA PARA LA SELECCIÓN DE LA APROBACIÓN

ENCUESTA PARA LA SELECCIÓN DE LA MEZCLA UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

Encuesta para la aceptabilidad de la mezcla de Espirulina con alimentos

Fecha:

Sexo: Masculino.....

Femenino.....

Lea cuidadosamente la presente encuesta y contéstela con toda franqueza.



El producto es el resultado del secado al vacío de la espirulina, se ha realizado 3 mezclas para su degustación. Espere un minuto entre cada muestra, enjuagando la boca con agua y prefiriendo no ingerir la muestra.

Coloque una x en el cuadro que corresponda al nivel de agrado que mejor califique a la muestra degustada

CUADRO DE ACEPTACIÓN		MUESTRA DE LA MEZCLA CON ALIMENTOS		
	ESCALA	M1	M2	M3
SABOR	Muy agradable			
	Agradable			
	Desagradable			
COLOR	Muy agradable			
	Agradable			
	Desagradable			
AROMA	Muy agradable			
	Agradable			
	Desagradable			

GRACIAS POR SU COLABORACIÓN

ANEXO B. ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE ESPIRULINA ANTES DEL SECADO

 Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca	LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA	 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO
	INFORME DE ANÁLISIS (Vía Interoceánica Km. 14, Granja del MAG, Tumbaco – Quito Teléf.: 02-2372-845 Ext.: 235)	

Hoja 1 de 1
INF N° B13069

Persona o Empresa solicitante: Sr. Luis Asero
País : Ecuador
Provincia: Pichincha
Cantón : Quito
Dirección: Humberto Albornoz y García de Valverde
Teléfono : 086444657
Fecha de ingreso de la muestra: 08/02/13
Fecha inicio análisis: 13/02/13
Fecha finalización análisis: 22/02/13
No. de Factura: 11871

DATOS DE LA MUESTRA:

Muestra : ESPIRULINA M1 **Código No.:** B130108
Tipo de Envase: Funda de plástico con cierre hermético y etiquetada.
Condiciones Ambientales de llegada de la muestra: Temperatura 23.3°C HR: 40%
Forma de Conservación: Ambiente, resguardado de la luz.
Muestreo: Responsabilidad del cliente

RESULTADOS DEL ANÁLISIS BROMATOLÓGICO

CODIGO MUESTRA	NOMBRE MUESTRA	EXPRESIÓN	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO ANALÍTICO	FORMULACIÓN TEÓRICA
B130108	ESPIRULINA M1	Humedad	86.06	%	Gravimétrico	---
		Materia Seca	13.94	%	PEE/L-B/01	---
		Cenizas	1.30	%	Gravimétrico	---
		Proteína	64.88	%	PEE/L-B/04	---
		Grasa	1.50	%	Kjeldahl	---
		Fibra	4.17	%	PEE/L-B/02	---
		ENN*	28.15	%	Soxhlet	---
					PEE/L-B/03	---
					Gravimétrico	---
					PEE/L-B/05	---
					Cálculo	---

*ENN= Elementos no nitrogenados

OBSERVACIONES:

- Los resultados de grasa, fibra, proteína, ceniza se reportan en base a muestra seca.

Analizado por:



Lic. Nuvia Pérez
 BQ. Gina Ortiz


 BQ. Gina Ortiz
 Representante Técnico

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente.
 Se prohíbe la reproducción parcial del informe

MC 2001.01

ANEXO C. ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DESPUÉS DEL SECADO AL VACÍO

	LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA	
	INFORME DE ANÁLISIS (Vía Interoceánica Km. 14, Granja del MAG, Tumbaco – Quito Teléf.: 02-2372-845 Ext.: 235)	

Hoja 1 de 7
INF N° B13026

Persona o Empresa solicitante: Sr. Luis Asero Farinango

País : Ecuador

Provincia : Pichincha

Cantón : Quito

Dirección : Humberto Albornoza y García Valverde

Teléfono : 0986444657

Fecha de ingreso: 18/01/13

Fecha de análisis: 21/01/13

Fecha finalización análisis: 06/02/13

N° Factura : 11748

DATOS DE LA MUESTRA:

Muestra : **ESPIRULINA a diferente temperatura de secado**

Tipo de Envase: Envases de plástico

Condiciones Ambientales de llegada de la muestra: Temperatura 22.8°C HR: 40%

Forma de Conservación: Refrigeración, protegido de la luz

Descripción: Muestras líquidas de color oscuro

Muestreo: Responsabilidad del cliente

Código No.: B130039

RESULTADOS DEL ANÁLISIS BROMATOLÓGICO

CODIGO MUESTRA	NOMBRE MUESTRA	EXPRESIÓN	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO ANALÍTICO	FORMULACIÓN TEÓRICA
B130039	ESPIRULINA A	Humedad	99.40	%	Gravimétrico PEE/L-BF/03	---
		Materia Seca	0.60	%		---
		Cenizas	0.06	%	Gravimétrico PEE/L-FBF/04	---
		Proteína	0.75	%	Kjeldahl PEE/L-FBF/01	---
		Grasa	0.00	%	Soxhlet PEE/L-BF/01	---
		Fibra	0.00	%	Gravimétrico PEE/L-BF/02	---
		ENN*	99.19	%	Cálculo	---



*ENN= Elementos No Nitrogenados

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente.

Se prohíbe la reproducción parcial del informe

MC 2001-01

ANEXO D. ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE ESPIRULINA DESPUÉS DEL SECADO

	LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA	
	INFORME DE ANÁLISIS (Vía Interoceánica Km. 14, Granja del MAG, Tumbaco – Quito Teléf.: 02-2372-845 Ext.: 235)	

Hoja 2 de 7
INF N° B13026

DATOS DE LA MUESTRA:

Muestra : ESPIRULINA
Código No.: B130040 - B130041

RESULTADOS DEL ANÁLISIS BROMATOLÓGICO



CODIGO MUESTRA	NOMBRE MUESTRA	EXPRESIÓN	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO ANALÍTICO	FORMULACIÓN TEÓRICA
B130040	ESPIRULINA B	Humedad	99.20	%	Gravimétrico	---
		Materia Seca	0.80	%	PEE/L-BF/03	---
		Cenizas	0.10	%	Gravimétrico	---
		Proteína	1.06	%	PEE/L-FBF/04	---
		Grasa	0.00	%	Kjeldahl	---
		Fibra	0.00	%	PEE/L-BF/01	---
		ENN*	98.84	%	Soxhlet	---
B130041	ESPIRULINA C	Humedad	99.40	%	PEE/L-BF/03	---
		Materia Seca	0.60	%	Gravimétrico	---
		Cenizas	0.09	%	PEE/L-FBF/04	---
		Proteína	1.25	%	Kjeldahl	---
		Grasa	0.00	%	PEE/L-BF/01	---
		Fibra	0.00	%	Gravimétrico	---
		ENN*	98.66	%	PEE/L-BF/02	---

*ENN= Elementos No Nitrogenados



Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente.
Se prohíbe la reproducción parcial del informe
MC 2001-01

ANEXO E. ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE ESPIRULINA DESPUÉS DEL SECADO

	LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA INFORME DE ANÁLISIS <small>(Vía Intercoastal Km. 14, Granja del MAG, Tumbaco – Quito Teléf.: 02-2372-845 Ext.: 235)</small>	 AGROCALIDAD <small>AGENCIA ECUATORIANA DE ASESORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO</small>
---	---	--

Hoja 3 de 7
INF N° B13026

DATOS DE LA MUESTRA:

Muestra : ESPIRULINA

Código No.: B130042- B130043

RESULTADOS DEL ANÁLISIS BROMATOLÓGICO



CODIGO MUESTRA	NOMBRE MUESTRA	EXPRESIÓN	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO ANALÍTICO	FORMULACIÓN TEÓRICA
B130042	ESPIRULINA C1	Humedad	99.1	%	Gravimétrico	---
		Materia Seca	0.90	%	PEE/L-BF/03	---
		Cenizas	0.09	%	Gravimétrico	---
		Proteína	1.25	%	PEE/L-FBF/04	---
		Grasa	0.00	%	Kjeldahl	---
		Fibra	0.00	%	PEE/L-FBF/01	---
		ENN*	98.66	%	Soxhlet	---
B130043	ESPIRULINA D	Humedad	99.40	%	PEE/L-BF/01	---
		Materia Seca	0.60	%	Gravimétrico	---
		Cenizas	0.10	%	PEE/L-BF/03	---
		Proteína	0.93	%	Gravimétrico	---
		Grasa	0.00	%	PEE/L-FBF/04	---
		Fibra	0.00	%	Kjeldahl	---
		ENN*	98.97	%	PEE/L-FBF/01	---

*ENN= Elementos No Nitrogenados



Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente.
Se prohíbe la reproducción parcial del informe
MC 2001-01

ANEXO F. ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE ESPIRULINA DESPUÉS DEL SECADO

	LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA	 AGROCALIDAD <small>AGENCIA ECUATORIANA DE ASESORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO</small>
	INFORME DE ANÁLISIS <small>(Vía Interoceánica Km. 14, Granja del MAG, Tumbaco – Quito Teléf.: 02-2372-845 Ext.: 235)</small>	

Hoja 4 de 7
INF N° B13026

DATOS DE LA MUESTRA:

Muestra : **ESPIRULINA**

Código No.: B130044 - B130045

RESULTADOS DEL ANÁLISIS BROMATOLÓGICO



CODIGO MUESTRA	NOMBRE MUESTRA	EXPRESIÓN	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO ANALÍTICO	FORMULACIÓN TEÓRICA
B130044	ESPIRULINA D1	Humedad	99.25	%	Gravimétrico PEE/L-BF/03	---
		Materia Seca	0.75	%		---
		Cenizas	0.09	%	Gravimétrico PEE/L-FBF/04	---
		Proteína	1.31	%	Kjeldahl PEE/L-FBF/01	---
		Grasa	0.00	%	Soxhlet PEE/L-BF/01	---
		Fibra	0.00	%	Gravimétrico PEE/L-BF/02	---
		ENN*	98.6	%	Cálculo	---
B130045	ESPIRULINA D2	Humedad	99.34	%	Gravimétrico PEE/L-BF/03	---
		Materia Seca	0.66	%		---
		Cenizas	0.07	%	Gravimétrico PEE/L-FBF/04	---
		Proteína	1.25	%	Kjeldahl PEE/L-FBF/01	---
		Grasa	0.00	%	Soxhlet PEE/L-BF/01	---
		Fibra	0.00	%	Gravimétrico PEE/L-BF/02	---
		ENN*	98.68	%	Cálculo	---

*ENN= Elementos No Nitrogenados



Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente.
Se prohíbe la reproducción parcial del informe
MC 2001-01

ANEXO G. ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE ESPIRULINA DESPUÉS DEL SECADO

	LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA INFORME DE ANÁLISIS <small>(Vía Intercooperativa Km. 14, Granja del MAG, Tumbaco – Quito Teléf.: 02-2372-845 Ext.: 235)</small>	 AGROCALIDAD <small>AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO</small>
---	---	--

Hoja 5 de 7
INF N° B13026

DATOS DE LA MUESTRA:

Muestra : **ESPIRULINA**

Código No.: B130046 – B130047

RESULTADOS DEL ANÁLISIS BROMATOLÓGICO



CODIGO MUESTRA	NOMBRE MUESTRA	EXPRESIÓN	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO ANALÍTICO	FORMULACIÓN TEÓRICA
B130046	ESPIRULINA E	Humedad	99.20	%	Gravimétrico PEE/L-BF/03	---
		Materia Seca	0.80	%		---
		Cenizas	0.10	%	Gravimétrico PEE/L-FBF/04	---
		Proteína	0.93	%	Kjeldahl PEE/L-FBF/01	---
		Grasa	0.00	%	Soxhlet PEE/L-BF/01	---
		Fibra	0.00	%	Gravimétrico PEE/L-BF/02	---
		ENN*	98.97	%	Cálculo	---
B130047	ESPIRULINA E1	Humedad	99.40	%	Gravimétrico PEE/L-BF/03	---
		Materia Seca	0.60	%		---
		Cenizas	0.05	%	Gravimétrico PEE/L-FBF/04	---
		Proteína	0.93	%	Kjeldahl PEE/L-FBF/01	---
		Grasa	0.00	%	Soxhlet PEE/L-BF/01	---
		Fibra	0.00	%	Gravimétrico PEE/L-BF/02	---
		ENN*	99.02	%	Cálculo	---

*ENN= Elementos No Nitrogenados



Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente.
Se prohíbe la reproducción parcial del informe
MC 2001-01

ANEXO H. ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE SPIRULINA DESPUÉS DEL SECADO

 <p>Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca</p>	LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA INFORME DE ANÁLISIS <small>(Vía Interoceánica Km. 14, Granja del MAG, Tumbaco – Quito Teléf.: 02-2372-845 Ext.: 235)</small>	 <p>AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO</p>
--	--	---

Hoja 6 de 7
INF N° B13026

DATOS DE LA MUESTRA:

Muestra : **ESPIRULINA**

Código No.: B130048 – B130049

RESULTADOS DEL ANÁLISIS BROMATOLÓGICO

CODIGO MUESTRA	NOMBRE MUESTRA	EXPRESIÓN	RESULTADO	UNIDAD	MÉTODO ANALÍTICO	FORMULACIÓN TEÓRICA
B130048	ESPIRULINA F	Humedad	99.16	%	Gravimétrico PEE/L-BF/03	---
		Materia Seca	0.84	%		---
		Cenizas	0.10	%	Gravimétrico PEE/L-FBF/04	---
		Proteína	1.00	%	Kjeldahl PEE/L-FBF/01	---
		Grasa	0.00	%	Soxhlet PEE/L-BF/01	---
		Fibra	0.00	%	Gravimétrico PEE/L-BF/02	---
		ENN*	98.9	%	Cálculo	---
B130049	ESPIRULINA G	Humedad	99.47	%	Gravimétrico PEE/L-BF/03	---
		Materia Seca	0.53	%		---
		Cenizas	0.08	%	Gravimétrico PEE/L-FBF/04	---
		Proteína	0.56	%	Kjeldahl PEE/L-FBF/01	---
		Grasa	0.00	%	Soxhlet PEE/L-BF/01	---
		Fibra	0.00	%	Gravimétrico PEE/L-BF/02	---
		ENN*	99.36	%	Cálculo	---

*ENN= Elementos No Nitrogenados

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente.
Se prohíbe la reproducción parcial del informe
MC 2001-01



ANEXO J. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO ANTES DEL SECADO AL VACÍO.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

LABORATORIO DE LACTICINEOS

Quito, Ciudad Universitaria

Tel.: 548-523

Casilla Postal 17-03-746

Quito, a _____ de _____ de 19____

Nº. INFORME: 006

FACTURA Nº. 0032313

FECHA: 28 - 01 - 2013

PROPIETARIO: Asero Luis

HACIENDA:

DIRECCIÓN: La Gasca

TELÉFONO: 0986444657

NOMBRE DEL PACIENTE:

ESPECIE:

ANAMNESIS: Muestra de Espirulina (micro alga), tomada hace 1 mes y congelada hasta el día de procesamiento, antes del secado al vacío. MUESTRA 1(M1) Y MUESTRA 2 M2


PRUEBAS DE LABORATORIO: Cultivo Bacteriológico cuantitativo.

MEDIOS DE CULTIVO Y PRUEBAS DE TIPIFICACIÓN:

Agar Nutritivo, agar Desoxicolato, agar sal Manitol, agar Sabouraud

RESULTADOS:

DETERMINACION	M1	M2
Recuento Mesófilos Totales	1000UFC/g	0 UFC/ g
Recuento Coliformes	0 UFC/g	0 UFC/g
Recuento Estafilococos	0 UFC/g	0 UFC/g
Recuento Mohos y Levaduras (37°C)	0 UFC/g	0 UFC/g
Recuento Mohos y Levaduras (M. Ambiente)	0 UFC/g	0 UFC/g


Dra. María Belén Cevallos

JEFE LABORATORIO BACTERIOLOGÍA

ANEXO K. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DESPUÉS DEL SECADO AL VACÍO.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

LABORATORIO DE LACTICINEOS

Quito, Ciudad Universitaria

Tel.: 548-523

Casilla Postal 17-03-746

Quito, a _____ de _____ de 19____

Nº. INFORME: 006

FACTURA Nº. 0032313

FECHA: 28 - 01 - 2013

PROPIETARIO: Asero Luis

HACIENDA:

DIRECCIÓN: La Gasca

TELÉFONO: 0986444657

NOMBRE DEL PACIENTE:

ESPECIE:

ANAMNESIS: Muestra de Espirulina (micro alga), tomada hace 1 mes y congelada hasta el día de procesamiento, antes del secado al vacío. MUESTRA 1(M1) Y MUESTRA 2 M2


PRUEBAS DE LABORATORIO: Cultivo Bacteriológico cuantitativo.

MEDIOS DE CULTIVO Y PRUEBAS DE TIPIFICACIÓN:

Agar Nutritivo, agar Desoxicolato, agar sal Manitol, agar Sabouraud

RESULTADOS:

DETERMINACION	M1	M2
Recuento Mesófilos Totales	1000UFC/g	0 UFC/ g
Recuento Coliformes	0 UFC/g	0 UFC/g
Recuento Estafilococos	0 UFC/g	0 UFC/g
Recuento Mohos y Levaduras (37°C)	0 UFC/g	0 UFC/g
Recuento Mohos y Levaduras (M. Ambiente)	0 UFC/g	0 UFC/g


Dra. María Belén Cevallos

JEFE LABORATORIO BACTERIOLOGÍA

ANEXO M. ESPIRULINA A DIFERENTES CONDICIONES



Fig M.1. Spirulina antes del secado



Fig M.2. Spirulina después del secado al vacío.



Fig M.3. Spirulina en polvo